

Bc. Ondřej Matyáš

# Konstrukční řešení prototypových nástrojů tisknutých z písku na 3D tiskárnách

Design of Prototype Tools  
Printed from Sand on 3D Printers

Diplomová práce

Vedoucí práce:  
Dr.Ing. Jaroslav Melecký

Ostrava 2021



**Bibliografický záznam**

Autor: Bc. Ondřej Matyáš, MAT0403

Název práce: Konstrukční řešení prototypových nástrojů tisknutých z písku na 3D tiskárnách

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení

Vedoucí práce: Dr.Ing. Jaroslav Melecký

Akademický rok: 2020/2021

Počet stran: 61

Klíčová slova: design, 3D tisk, lisovací, prototyp, nástroj, konstrukce.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MATYÁŠ, Ondřej. *Konstrukční řešení prototypových nástrojů tisknutelných z písku na 3D tiskárnách*. Ostrava, 2021. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Dr.Ing. Jaroslav Melecký.

Diplomová práce se zabývá problematikou vývoje prototypových nástrojů akustických dílů. V úvodu jsou srovnány dostupné technologie 3D tisku a jejich možnosti. Na základě srovnání jednotlivých typů je vybrána metoda Binder Jetting, metoda 3D tisku na principu nanášení jednotlivých vrstev písku spojovaných pojivem. Vlastnosti této tisknuté struktury jsou ověřovány s Modelárnou Liaz Liberec v závislosti na jejich zkušenostech a požadavcích nástrojárny Autoneum Hnátnice. Na základě tisku zkušebních vzorků, jsou ověřené předem stanovené vlastnosti výsledných vytištěných dílů. V závěru práce je porovnání výrobních alternativ výrob prototypových nástrojů. Součástí diplomové práce jsou podklady k výrobě navrženého prototypového nástroje s okruhem chlazení.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

MATYÁŠ, Ondřej. *Design of Prototype Tools Printed from Sand on 3D Printers*. Ostrava, 2021. Master thesis. VSB - Technical University of Ostrava. Thesis supervisor Dr.Ing. Jaroslav Melecký.

The master thesis deals with the development of prototype instruments of acoustic parts. In the introduction the available 3D printing technologies and their possibilities are comparable. Based on the comparison of individual types, the Binder Jetting method is selected a 3D printing method based on the principle of application of individual layers of sand of connected terms. The properties of this printed structure are verified by Modelarna Liaz Liberec, depending on their experience and requirements for Autoneum Hnatnice Tooling. Based on the printing of test specimens, the predetermined properties of the resulting printed parts are verified. At the end of the work is a comparison of production alternatives of production prototype tools. The master thesis includes materials for the production of a designed prototype tool with a cooling circuit.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	HISTORIE .....	10
3	HLAVNÍ METODY RAPID PROTOTYPING .....	11
3.1	Základní materiál tekutý .....	11
3.1.1	Stereolitografie (SLA) .....	11
3.1.2	Solid Ground Curing (SGC) .....	12
3.1.3	Solid Creation System (SCS) .....	13
3.1.4	Jetted Photopolymer (JP) .....	13
3.2	Základní materiál prášek .....	14
3.2.1	Selective Laser Sintering (SLS) .....	14
3.2.2	Tree-Dimensional Printing (3DP) .....	14
3.2.3	Direct Metal Laser Sintering (DMLS) .....	15
3.2.4	Multiphase Jet Solidification (MJS) .....	16
3.2.5	Electron Beam Melting (EBM) .....	16
3.3	Základní materiál pevný .....	17
3.3.1	Fused Deposition Modeling (FDM) .....	17
3.3.2	Paper Lamination Technology (PLT) .....	18
3.3.3	Multi-Jet Modeling Systém (MJM) .....	18
3.3.4	Laminated Object Manufacturing (LOM) .....	19
4	BINDER JETTING .....	21
4.1	Princip metody .....	21
4.2	Typy písků kompatibilních se Sand Print tiskárnou S-Max .....	22
4.3	Furfuryl Alcohol - Furan .....	22
4.4	Modelárna Liaz .....	23
5	KONSTRUKCE PROTOTYPOVÉHO NÁSTROJE .....	25
5.1	Konstrukční díl .....	25
5.1.1	Materiál dílu .....	25
5.1.2	Zástavba dílu v automobilu .....	26
5.2	Pinch banka .....	26
5.3	Pinchovací hrana .....	29
5.4	Těsnící drážka a pero .....	30

5.5	Kanál spodního a horního bloku.....	31
5.6	Bezvýkresová dokumentace.....	31
5.7	Dimenzování dorazů.....	32
5.7.1	Výpočet počtu dorazů .....	32
5.8	Spodní blok.....	34
5.9	Horní blok.....	35
5.10	Scale - měřítko .....	36
6	PRAKTICKÁ ČÁST.....	37
6.1	Zkouška rázem v ohybu .....	37
6.1.1	Výpočet vrubové houževnatosti dle ČSN 42 0381.....	38
6.2	Měření pevnosti vytištěného vzorku v ohybu .....	40
6.3	Měření prodyšnosti .....	40
6.4	Měření tvrdosti.....	41
6.5	Měření přesnosti tisknutých děr .....	42
6.5.1	Souřadnicový stroj WENZEL LH 1512 .....	44
6.6	Váha jednotlivých tištěných komponent.....	44
7	SROVNÁNÍ METOD SAND PRINT VS KLASICKÁ VÝROBA NÁSTROJE .....	46
7.1	Časové srovnání dodání.....	46
7.1.1	Z hlediska konstrukce .....	46
7.1.2	Z hlediska CAM a obrábění.....	47
7.1.3	Z hlediska montáže .....	47
7.2	Finanční srovnání.....	47
8	ZÁVĚR .....	48
9	CITACE .....	49
10	SEZNAM PŘÍLOH .....	51
11	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE .....	52

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Jednotka	Popis
3DP	-	Tree Dimensional Printing
a	[mm]	Šířka styčné plochy dorazu
Al	-	Hliník
b	[mm]	Délka styčné plochy dorazu
BJ	-	Binder Jetting
CAM	-	Computer Aided Machining – software sloužící k programování
D	[-]	Výpočtový počet dorazů
DMLS	-	Direct Metal Laser Sintering
Dn	[-]	Teoretický počet dorazů
EBM	-	Electron Beam Melting
FDM	-	Fused Deposition Modeling
Fdorazu	[N]	Zatížení dorazů
Flisu	[N]	Celková síla lisu
g	[m.s <sup>-2</sup> ]	Gravitační zrychlení
H	[m]	Výška pádu
h	[m]	Výška vzestupu
JP	-	Jetted Photopolymer
JT	-	Přípona souboru společnosti Siemens PLM
k	[-]	Koeficient bezpečnosti dorazů pískového nástroje
KCV	[J.cm <sup>-2</sup> ]	Vrubová houževnatost
L	[m]	Délka ramena
LOM	-	Laminated Manufacturing
m	[kg]	Hmotnost
MatAt1	-	Fingovaný název vyvíjeného materiálu 1 firmy Autoneum
MatAt2	-	Fingovaný název vyvíjeného materiálu 2 firmy Autoneum
MJM	-	Multi Jet Modeling System
MJS	-	Multiphase Jet Solidification
PC	-	Personal Computer
PDF	-	Portable Document Format
PLM	-	Product Lifecycle Management
PLT	-	Paper Lamination Technology
PUR	-	Polyuretanová pěna
R	[mm]	Poloměr zahluobené díry pro šroub
RC	-	Rapid Casting
RM	-	Rapid Manufacturing
RP	-	Rapid Prototyping
RT	-	Rapid Tooling
S	[mm <sup>2</sup> ]	Výsledná styčná plocha
S1	[mm <sup>2</sup> ]	Styčná plocha bez děr pro šrouby

S2	$[mm^2]$	Plocha díry pro hlavu šroubu
SGC	-	Solid Ground Curing
SLA	-	Stereolitografie
SLS	-	Selective Laser Sintering
So	$[mm^2]$	Plocha v místě vrubu
SPŠ	-	Střední průmyslová škola
STL	-	Standard Triangle Language
V	$[m^3]$	Objem
VOŠ	-	Vyšší odborná škola
Wm	$[J]$	Spotřebovaná práce
$\alpha$	$[^\circ]$	Úhel pádu
$\beta$	$[^\circ]$	Úhel vzestupu
$\pi$	$[-]$	Ludolfovo číslo
$\rho_{\text{písku}}$	$[kg.m^3]$	Hustota naimpregnovaného písku
$\sigma_{\text{dov}}$	$[MPa]$	Dovolené míjivé napětí v tlaku
$\varphi$	$[^\circ]$	Počáteční úhel



## 1 ÚVOD

Firma Autoneum Tooling Hnátnice sídlí nedaleko Ústí nad Orlicí. Celosvětově Autoneum zaměstnává okolo 12 800 zaměstnanců v 53 závodech a 24 zemích světa. Z toho v nástrojárně v Hnátnici je zaměstnaných 219 lidí. Většina firem Autoneum jsou lisovny, pouze jediný závod, a to právě v Hnátnici na výrobu nástrojů. Našimi zákazníky jsou např. BMW, Jaguar, Rolls Royce, Audi, Porsche a mnoho dalších. Na našich nástrojích se lisují tepelně a zvukově izolační díly pro automobilový průmysl a jsme schopni vyrobít formu vážící klidně až 25 tun o maximálních rozměrech až 3000x2000x1200 mm. Speciální hloubkové vrtání akustických forem. Přes konstrukci nástrojů, až po namontovaný nástroj přímo u zákazníka. V České republice se mimo závodu nástrojárny Hnátnice nachází ještě dvě lisovny Autoneum a to v Chocni a Boru u Tachova. Choceňský závod se specializuje na výrobu protihlukových izolací, koberců, ale také plastových dílů a pěnových izolací. Nejmladší závod korporátu Autoneum se nachází v Boru u Tachova a specializuje se na kobercové díly automobilového průmyslu.



Obr. 1 Mapa české republiky s vyznačením polohy závodu Hnátnice [22]

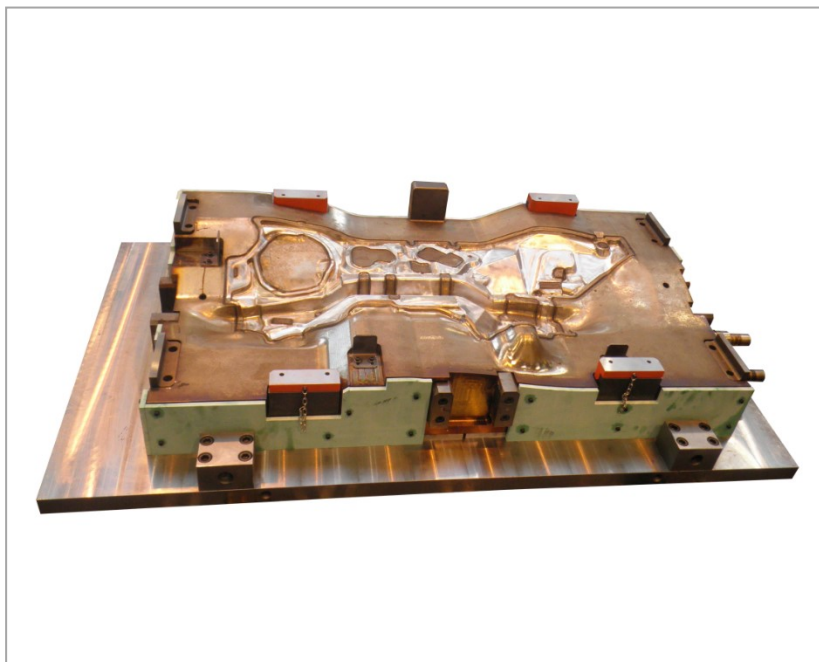
Tab.1 Tabulka informací Autoneum Hnátnice

Výroba	4750 m <sup>2</sup> výrobní plochy 1510 m <sup>2</sup> skladovací plochy
Technologie	Koberce / protihlukové izolace / pěna / GMT-LFT / tepelné štíty / Al profily
Výrobky	Nástroje pro lisování / stříhání / děrování / vypěňování / ohýbání Kontrolní měrky, chladicí přípravky.



*Obr. 2 Výrobní portfolio Autoneum [22]*

Nástroje na výrobu protihlukových dílů jsou jedním z nástrojů, kterým se nástrojárna Autoneum Hnátnice zabývá a vyrábí je pro zákazníky z celého světa, jsou olejem topené, někdy i párou natápěné akustické díly.



*Obr. 3 Olejem vytápěný pinchovací nástroj [22]*

## 2 HISTORIE

Z pohledu historie spatřila světlo světa první metoda 3D tisku na konci osmého desetiletí devatenáctého století. Tak tedy 3D tisk odstartoval svoji historii a byl vzápětí pojmenován Rapid Prototyping (RP). Celá technologie vznikla za předpokladu rychlejší a nákladově efektivnější práce, především pak jako výroba prototypů pro vývoj průmyslových produktů. Jako první na světě si v roce 1980, nechal patentovat technologii RP Dr. Kodama v Japonsku. Skutečný 3D tisk jako takový připisujeme do historie až v roce 1983, kdy byl poprvé sestaven funkční stroj využívající přednosti metody Stereolitografie (SLA). Zakladatelem této metody byl Charles Hull, který následně založil jednu z největších společností zabývajících se 3D tiskem. [1]

Od začátku devadesátých let devatenáctého století vzniká velké množství dostupnějších strojírenských technologií, které se čím dál více zaměřovaly výhradně na průmyslové aplikace. Jelikož procesů prototypových aplikací s časem přibývalo, výzkum i vývoj se začal ubírat směrem k vyspělejšími technologiím s důrazem na kvalitu a hlavně přesnost. V důsledku tohoto vlivu vznikají nové terminologie, Rapid Tooling (RT), Rapid Casting (RC) a Rapid Manufacturing (RM). [1]

V roce 2007 se na trhu objevila první 3D tiskárna prodávána pod magickou hranicí 10 000 dolarů od společnosti 3D Systems. Bohužel kvůli špatnému systému nesplnila očekávání vývojářů. V druhé polovině roku 2007, byla představena 3D tiskárna jejíž cena se pohybovala dokonce pod 5000 dolarů. Díky této částce už o tomto produktu mohla uvažovat širší společnost firem a tím se nám urychlil rozmach 3D tisku. Okolo roku 2020 zažívají velký rozmach zejména 3D tiskárny FDM pro kutily. [1]



*Obr. 4 Jedna z prvních 3D tiskáren [2]*

### 3 HLAVNÍ METODY RAPID PROTOTYPING

V této kapitole si představíme základní rozdělení metod RP. Takovou separaci provádíme na tři skupiny, dle skupenství výchozího materiálu, a to v pevném, tekutém či ve skupenství sypaném tedy, formě prášku. Před každým tiskem, je třeba promyslet samotné použití jednotlivého vstupního skupenství v závislosti na předpokládaných mechanických vlastnostech samotného dílu. V každé formě skupenství vstupního materiálu zvažujeme výhody i nevýhody.

Tab.2 Tabulka rozdělení dle skupenství vstupního materiálu.

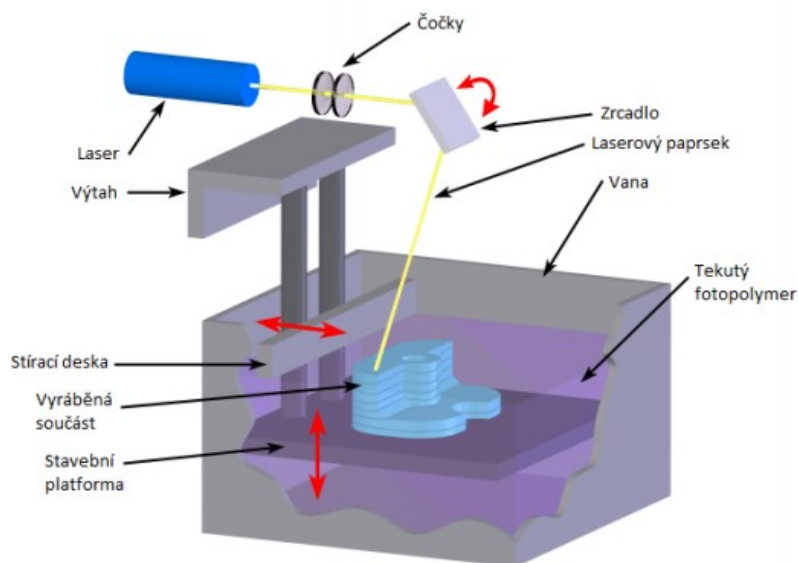
Rapid Prototyping (RP)		
Základní materiál tekutý	Základní materiál prášek	Základní materiál pevný
Stereolithography (SLA)	Selective Laser Sintering (SLS)	Fused Deposition Modeling (FDM)
Solid Ground Curing (SGC)	Tree-Dimensional Printing (3DP)	Paper Lamination Technology (PLT)
Solid Creation System (SCS)	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Multi-Jet Modeling System (MJM)
Jetted Photopolymer (JP)	Multiphase Jet Solidification (MJS)	Laminated Object Manufacturing (LOM)
	Electron Beam Melting (EBM)	
	Binder Jetting (BJ)	

#### 3.1 Základní materiál tekutý

Tato kapitola nám shrnuje metody 3D tisku se základním materiálem tekutého skupenství.

##### 3.1.1 Stereolitografie (SLA)

Metoda SLA pracuje na základě tekutého polymeru, který je vytvrzován díky laserovému zařízení. Laser nepoužívá pouze jednu vlnovou délku, nýbrž vlnové délky v rozsahu 310-410 nm. Tato metoda patří k jedné z nejpřesnějších metod 3D tisku. V osách XY dosahuje přesnosti i několik jednotek  $\mu\text{m}$  a v ose Z o výšce vrstvy 15-100  $\mu\text{m}$ . Díky těmto hodnotám dosahuje výsledný povrch tisknutých součástí velice hladký povrch a vrstvy bývají těžko rozeznatelné. Míno této metody lze spatřovat v pořizovací ceně technologie, která se pohybuje v řádech statisíců. Cenová výše 1 kg materiálu začíná na hranici 10 000 Kč/kg. Vytvrzování funguje s pomocí pulzní laserové diody, jejíž výkon se mění na základě použitého fotopolymeru i zvoleném výrobcí zařízení. Pomocí rotujícího zrcátka a hranolu laserový svazek fokusuje na hladinu fotopolymeru, tzn. tloušťka jedné vrstvy, často také označována jako výška jedné vrstvy mezi tiskovou podložkou a separační folii na skle. V ose X se pohybuje laserová hlava. Fokusace probíhá v ose Y a ve směru Z, vždy se o jednu výšku tisku posouvá podložka tiskárny. Při samotném tisku dochází k samovolnému odtrhávání tisknutého materiálu od separační folie. Tento jev je nežádoucí a je nutné dbát na správnou orientaci modelu. Pro případ, kdyby se nám výtisk odtrhl, je možné výtisk ponořit do fotopolymeru na několik minut a následně znovu přitisknout na podložku. [3], [4]

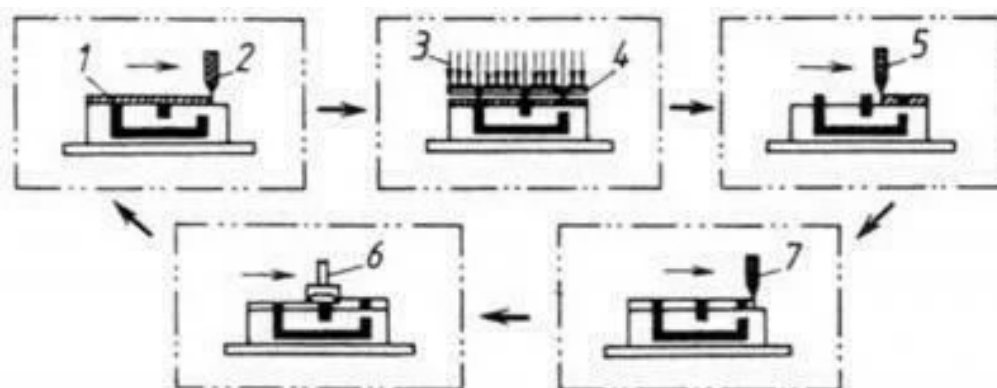


Obr. 5 Princip metody Stereolitografie [7]

### 3.1.2 Solid Ground Curing (SGC)

Metoda Solid Ground Curing je založena na principu vytvrzování fotocitlivého polymeru. Byla vyvinuta izraelskou firmou CUBITAL Ltd. Stejně jako u metody Stereolitografie se zde používá tekutý opticky vytvrditelný polymer. Princip vytvrzování se liší, jelikož se celá vrstva osvětí pouze jednou UV lampou. Takové osvětlení se provádí pomocí předem vytvořeného negativu, který je vyroben ze skleněné destičky. Destička představuje tvar jedné vrstvy. [5]

Samotná tvorba výrobku probíhá na základě dvou rozdělených současně aplikujících se cyklech. Jako první je tvořena negativní maska a následně dochází k osvětlení polymeru, který tvrdne a neosvětlený tekutý polymer je odsáván. Prostor tekutého polymeru se vyplní voskem. Dalším krokem této metody je frézování povrchu na přesnou výšku vrstvy. Dále následuje další nanesení vrstvy již zmiňovaného tekutého polymeru. Po poslední nanesené tiskové vrstvě nastává poslední proces této metody. Je třeba se zbavit voskové výplně, vzniklé jako podpurné konstrukce. Tu pomocí chemické reakce kyseliny citronové s voskem odstraníme. [5]



Obr. 6 Schéma zařízení pro technologii SGC [5]

(1 – obrobek, 2 – nanášený fotopolymer, 3 – vytvrzování fotopolymeru osvětlením UV zářením, 4 – negativní maska, 5 – odstranění přebytečného fotopolymeru, 6 – fréza, 7 – nanášení vrstvy vosku)

### 3.1.3 Solid Creation System (SCS)

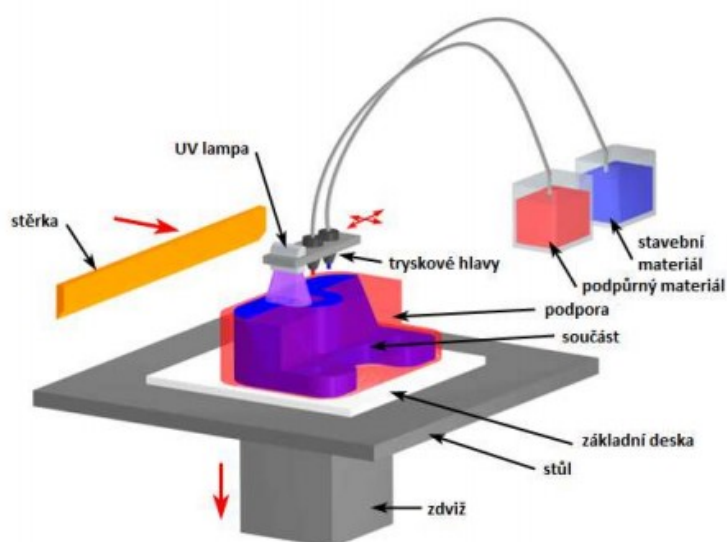
Solid Creation System (SCS) vzniká ve spolupráci dvou japonských firem Japan Synthetic Rubber a Sony Corporation. Principem je tato metoda velice podobná jako metoda (SLA) s tím rozdílem, že metodou (SCS) jsou vyráběny daleko větší objekty. [5]



Obr. 7 Vytištěný model metodou SCS [6]

### 3.1.4 Jetted Photopolymer (JP)

Metoda Jetted Photopolymer je aditivní proces, který kombinuje techniky použité z inkoustového tisku a metody stereolitografie (SLA). Pomocí tiskových hlav jsou nanášeny drobné kapky stavebního materiálu a podpurného materiálu. Nejčastěji je to vosk, na základě kterého se tvoří podpory. Hlavním materiálem je stejně jako u (SLA) tekutý fotopolymer, který je po nanesení jedné vrstvy vytvrzován UV světlem. Tato metoda je méně přesná ve srovnání s metodou (SLA). Používá se na výrobu rychlých prototypů v oblasti šperků a lékařských nástrojů. [7]



Obr. 8 Princip metody Jetted Photopolymer [7]

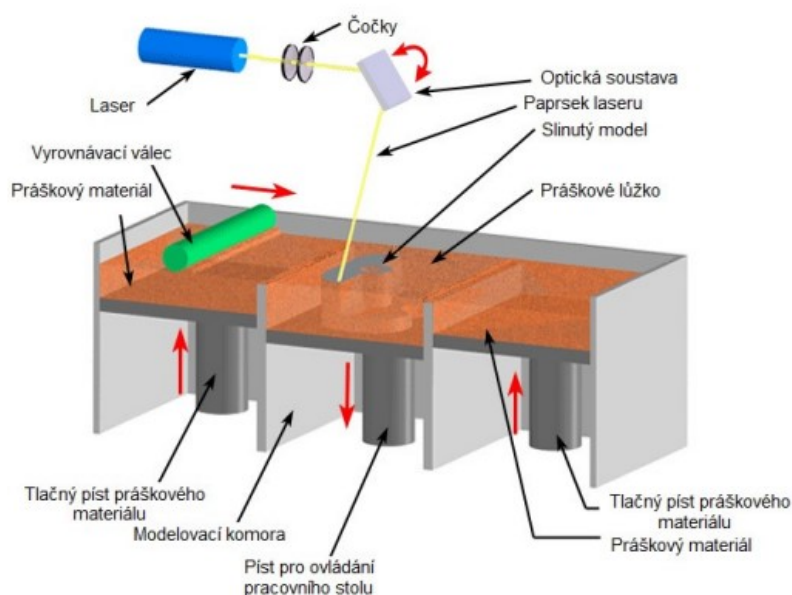


## 3.2 Základní materiál prášek

V této kapitole jsou shrnuty metody 3D tisku s materiálem sytkého skupenství.

### 3.2.1 Selective Laser Sintering (SLS)

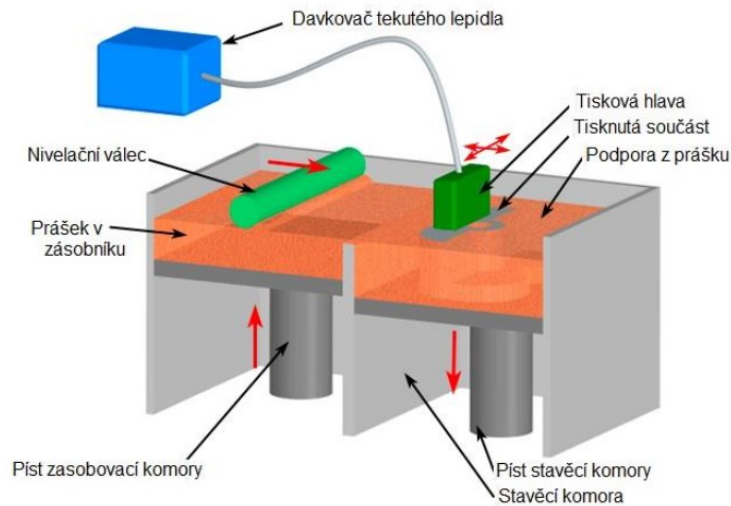
Metoda Selective Laser Sintering (SLS) je založena na technologii spékání práškových materiálů. Nejpoužívanější to jsou materiály kovové, keramické a plastové. Největší výhodou této technologie je, že není třeba podpor, jelikož je samotný výtisk neustále obklopen zbytky nespečeného materiálu. Při tisku je nanášena vždy souvislá vrstva prášku, která je v žádoucích místech spečena a následně podložka klesá o výšku tisku směrem dolů. Celý tento proces se opakuje do nejvyššího místa výtisku. [3]



Obr. 9 Princip metody Selective Laser Sintering [7]

### 3.2.2 Tree-Dimensional Printing (3DP)

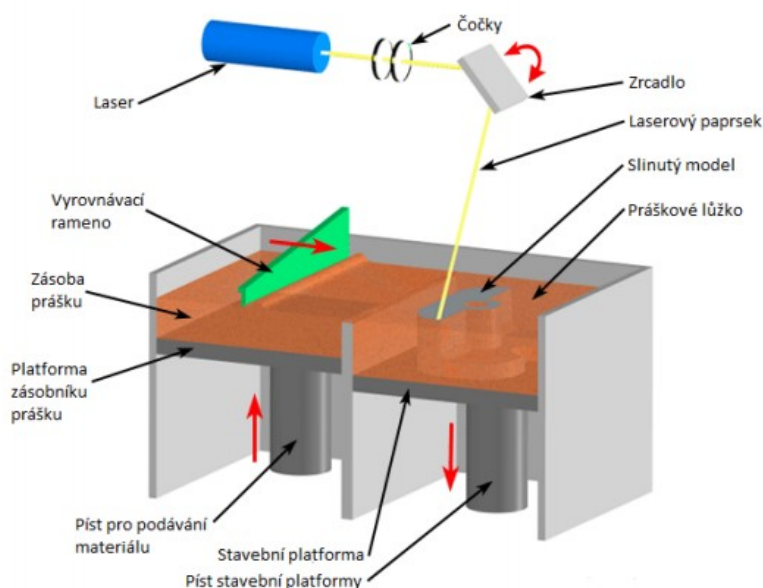
Technologie metody (3DP) je stavěna na podobném procesu jako (SLA) pouze s rozdílem, že místo vytvrzování pomocí laseru, je použita inkoustová hlava, která spojuje prášek pomocí tekutého lepidla. Lepidlo váže materiál do míst, kde se nachází oblast samotného modelu. Jako tiskový prášek, se využívají kovové či keramické materiály. Každá vrstva je před samotným vytvrzením lepidlem stlačena pístem a následně srovnána pomocí válečku. Výhodou této metody je především rychlost tisku. Obvykle 2-4 vrstvy za minutu. Přesnost ani pevnost samotného výtisku však není tak přesná ani pevná jako u metody (SLA). Přesnost lze zvýšit následnou povrchovou úpravou. Metoda využívána především u rychlých prototypů. [7]



Obr. 10 Princip metody Selective Laser Sintering [7]

### 3.2.3 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Metoda Direct Metal Laser spatřila světlo světa v roce 1995, kdy německé firmy Electro Optical Systems spolu s Rapid Product Innovations vyvinuly tuto metodu. Tedy první metoda, která dokázala rychlou výrobu kovových prototypů v jediném procesu. V současnosti tato metoda disponuje výrobou několika tvarově odlišných dílů a současně rozsáhlou oblast vlastností vytištěného dílu. Od řízení pórovitosti, až po plně homogenní struktury materiálu. Díly z plného materiálu dosahují vyšší pevnosti než odlitky, či dokonce výkovky. Samotný průběh tisku funguje na principu nanášení pomocí dávkovacího zařízení, které nanese jednu vrstvu kovového prášku. Vzápětí vyrovnávací rameno s keramickým břitem urovňuje celou vrstvu ocelového prášku na předem zvolenou výšku vrstvy. Vrstva v místě dílu je osvětlena laserovým paprskem o výkonu 200-400 W a tím spečena. V pracovní komoře 3D tiskárny je použit dusík, který zastává funkci ochranné atmosféry. Chrání tedy samotný díl před oxidací. Při tisku pomocí základního materiálu z titanu se používá jako ochranný plyn argon. Nespotřebovaný prášek se z 98 % odsává a je znovu použit při dalším tisku. [8]

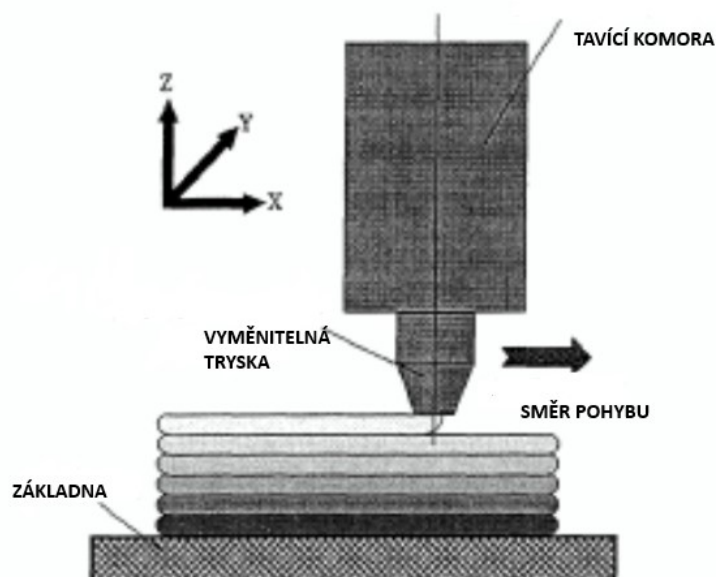


Obr. 11 Princip metody Direct Metal Laser Sintering [9]



### 3.2.4 Multiphase Jet Solidification (MJS)

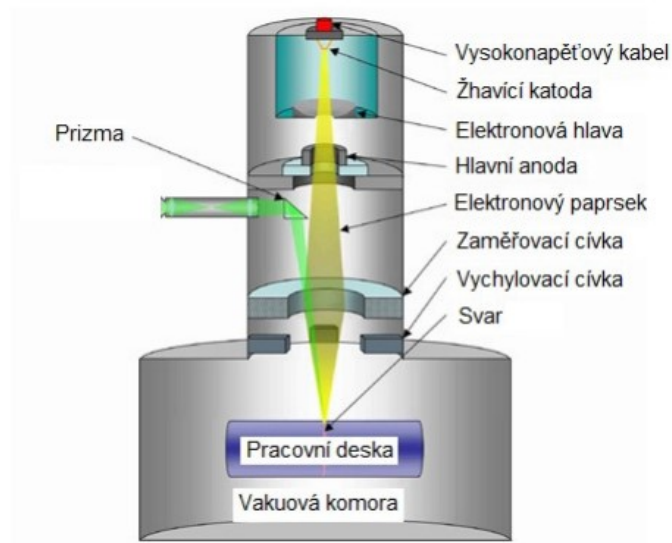
Princip metody Multiphase Jet Solidification spočívá v zahřívání kovového či keramického pojiva na bázi polymeru ve vyhřívané komoře v závislosti na tavných konstantních teplotách a vhodné viskozitě. Následně se materiál s ideální viskozitou vytlačuje tryskou. Extrudace suroviny z trysky probíhá v osách X a Y. Stavební hmota při kontaktu s první depoziční či předchozí vrstvou chladne. Teplota suroviny je převedena do okolního prostředí. Krok v ose Z nastavujeme v rozmezí 0,1-0,5 mm. Tento proces se opakuje do stádia, kdy je součást hotová. Pracovní proces je podobný technologii FDM s rozdílem, že tato metoda umožňuje vyrábět díly z ušlechtilých ocelí, kyslíčnicku hliníku, titanu. [5],[10]



Obr. 12 Princip metody Multiphase Jet Solidification [10]

### 3.2.5 Electron Beam Melting (EBM)

Metoda Electron Beam Melting funguje na principu roztavení kovového prášku či drátu vždy umístěného ve vakuu. Samotná tavba probíhá pomocí elektronového paprsku při teplotách až 2000 °C. Tavba materiálu je úplná, tedy i samotné jádro materiálu je roztaveno. Samotná technologie spočívá v nanášení jedné vrstvy na druhou. Jelikož celý proces probíhá ve vakuu, je tato metoda vhodná zejména na výrobu součástek v astronautice, automobilovém či dokonce leteckém průmyslu. Materiály vhodné k tisku touto metodou jsou titan, měď, niobium či chirurgická ocel. Nevýhody této metody jsou enormní pořizovací ceny tiskáren, nutnost samotný výtisk dále povrchově opracovávat. Na tuto technologii má patent firma GE Additive. [11]



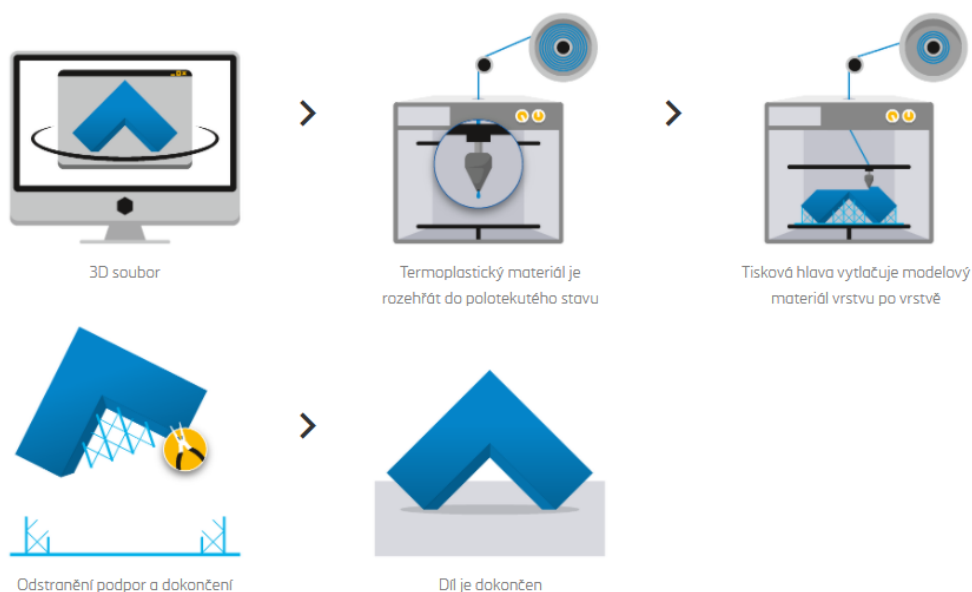
Obr. 13 Princip metody Electron Beam Melting [18]

### 3.3 Základní materiál pevný

V této kapitole jsou shrnuty metody 3D tisku s podpurným materiálem pevného skupenství.

#### 3.3.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

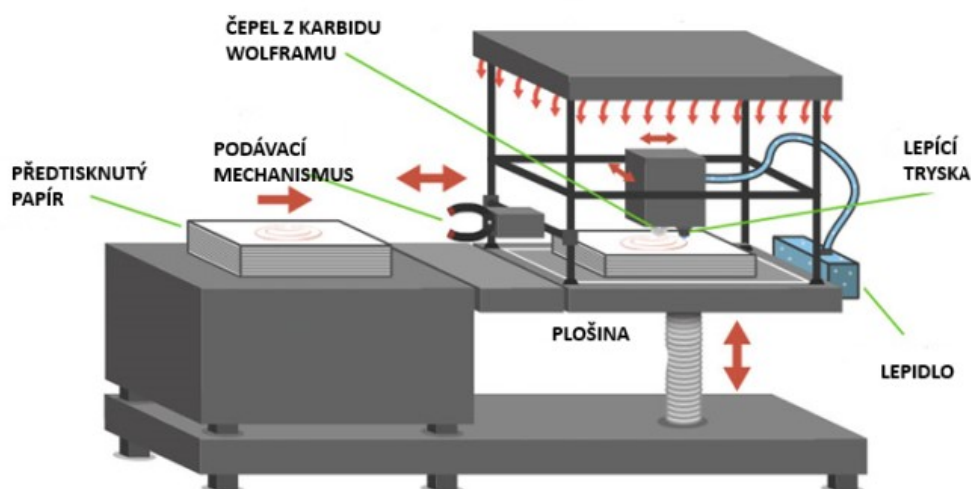
Metoda Fused Deposition Modeling (FDM) využívá jako počáteční strukturu tiskovou strunu procházející tiskovým extruderem, ve kterém se počáteční materiál o průměru standardně 1,75 mm či méně často 2,85 mm. Tento základní materiál je taven do polotekutého stavu. Základní surovina je nanášena na tiskovou podložku. V oblastech, kde potřebuje být samotný výtisk podepřen, se generují podpory, které se po samotném dokončení tisku ulamují a místa zabrušují. U některých materiálů se podpory rozpouští vodou, kde se celý výtisk vloží do vody a podpory se rozpustí. [12]



Obr. 14 Princip metody Fused Deposition Modeling [12]

### 3.3.2 Paper Lamination Technology (PLT)

Metoda Paper Lamination Technology, tedy přeloženo do češtiny technika 3D tisku laminováním archů je používána hlavně k výrobě barevných předmětů ve vysoko detailním rozlišení. Jako stavební materiál se používají tenkovrstvé materiály. Například hliníková fólie nebo papírová vlákna. Dělí se na vhodně tvarované vrstvy pomocí laserů nebo velmi ostré čepele z karbidu wolframu. Jednotlivé vrstvy jsou potaženy lepidlem a postupně lepeny po vrstvách. Přesnost výsledku většinou závisí na tloušťce použitých vrstvených materiálů. Objekty, které se tisknou touto technikou, lze po dokončení procesu tisku dodatečně upravit obráběním nebo vrtáním či broušením. [13]

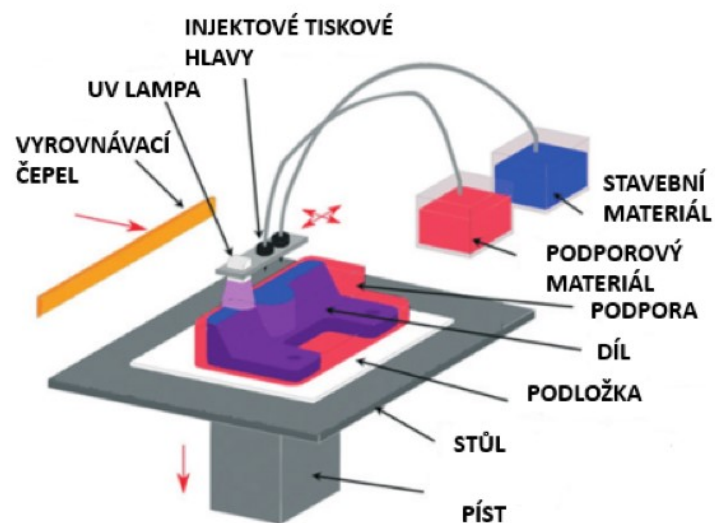


Obr. 15 Princip metody Electron Beam Melting [13]

### 3.3.3 Multi-Jet Modeling Systém (MJM)

Multi-Jet Modeling je metoda, při které se plastický model vytváří ve vrstvách přímo z 3D dat pomocí tiskové hlavy s několika lineárními tryskami. Voskovité termoplasty se nanášejí jako jemné kapky přes zahřátou tiskovou hlavu v rozlišení 300 dpi i klidně vyšším. Vytvrzení polymeru vzniká pomocí UV světla. U převisů je konstruována nosná konstrukce z vosku s nízkou teplotou tání, která je později odstraněna zahřátím. Hotové modely lze velmi snadno strojově opracovat, lepit, potahovat, nebo brousit. Metoda, která je velmi podobná metodě inkoustových tiskáren, je zvláště vhodná pro vysoce detailní koncepční modely a designové prototypy. Díky přesnému do detailu vytisknutému modelu, lze v případě potřeby vyrobit odlitky. Například pomocí procesu vakuového odlévání v následujících procesech.

Díky této metodě mnoho firem po celém světě vyrábí vysoce kvalitní plastové prototypy. Ať už jde o komponenty pro vývoj konceptu, vzorky pro kontrolu návrhu nebo funkční prototypy pro analýzu tvarů. Multi-jetové modelování je nejlepší metodou rychlých prototypů, tedy ideálně splňuje novodobý trend neustálého zrychlování vývoje s důrazem na detail. [14]

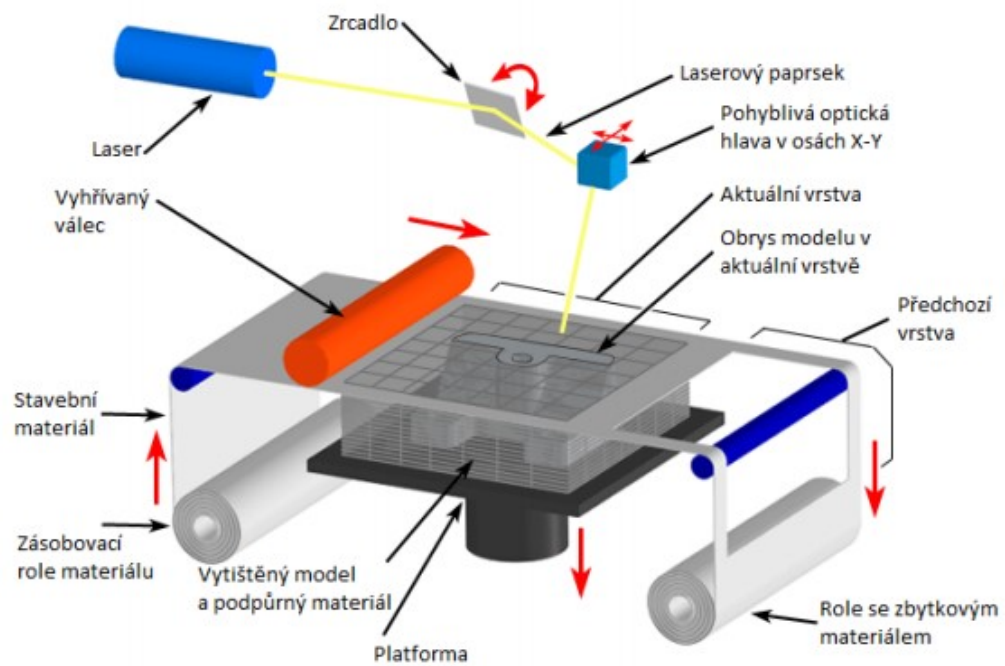


Obr. 16 Princip metody Electron Beam Melting [9]

### 3.3.4 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Laminated Object Manufacturing je metoda 3D tisku vyvinutá společností Helisys Inc, nyní Cubic Technologies. Vrstvy materiálu, plastu nebo vrstvy papíru jsou roztaveny nebo laminovány za předpokladu vysoké teploty a tlaku. I když je tato technika efektivní, cenově dostupná a poměrně rychlá, stále není příliš populární. V technologii LOM se vrstvený materiál válcuje na základní podložce. Materiál je obvykle potažen vrstvou lepidla a podávací válec se zahřívá, díky čemuž se lepidlo roztaví. Vrstva se poté nalepí na předchozí. Ostrá čepel nebo laser se používají k ořezu návrhu půdorysné geometrie objektu. Objekty tištěné z papíru, získávají vlastnosti podobné dřevu a jsou vhodné pro výrobu forem pro odlévání do písku, papírové předměty jsou obvykle zality barvou nebo lakem, aby se zabránilo průniku vlhkosti do struktury.

Tato technologie je velmi univerzální, protože lze lepit téměř jakýkoli materiál. Během tohoto procesu výroby jsou vrstvy lepených papírů, plastů nebo kovových laminátů postupně slepeny dohromady. Nejběžněji používaným materiálem je papír, který se snadno řeže. Kovové plechy nejsou tak časté, jelikož fáze řezání je složitější. LOM využívá velmi jednoduchého procesu, proto je levný a rychlý. Přesnost tisku závisí na tloušťce vrstvy základního materiálu. Ve srovnání s jinými technologiemi Rapid Prototyping tato metoda není považována za příliš přesnou. [15]



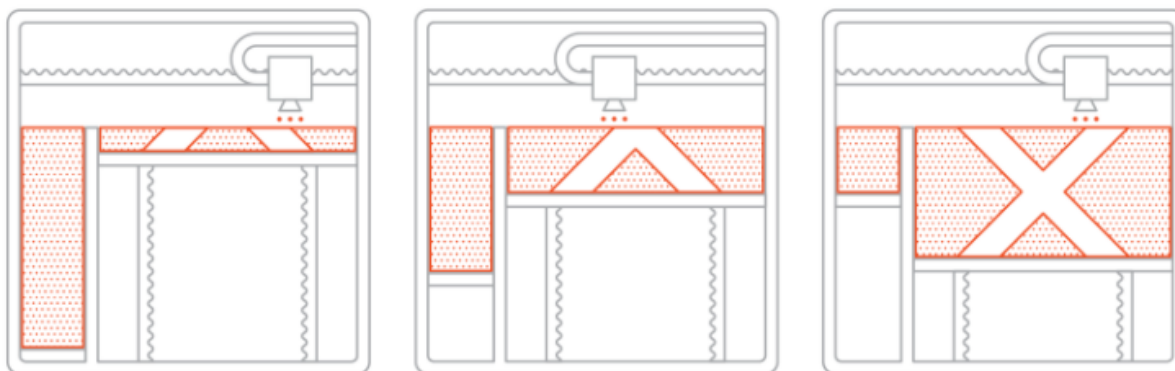
Obr. 17 Princip metody Laminated Object Manufacturing [7]

## 4 BINDER JETTING

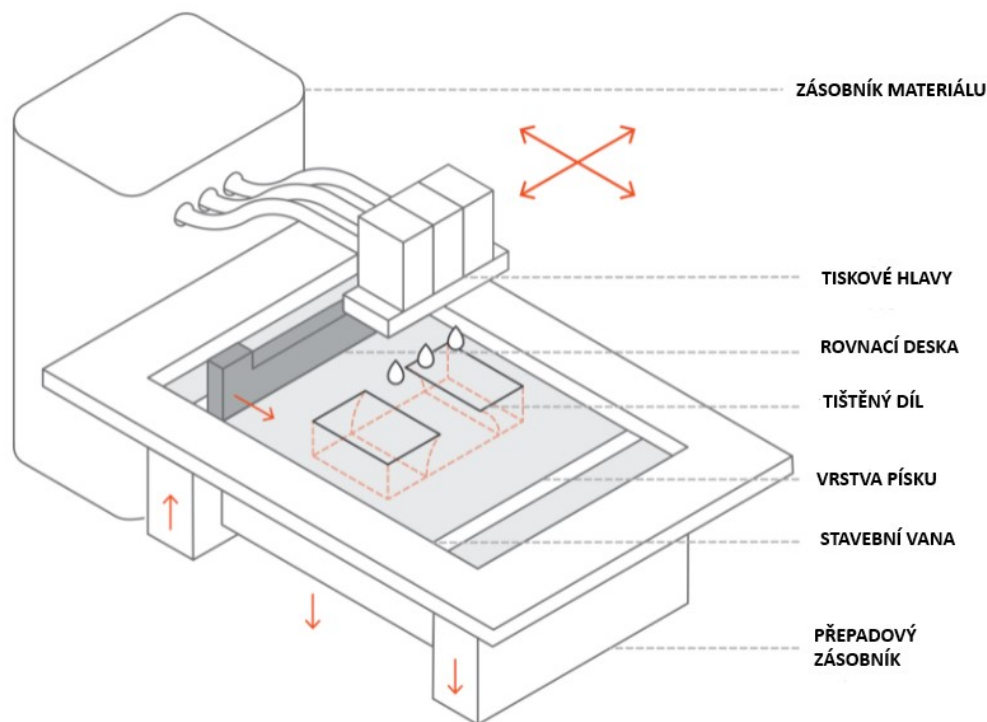
Binder Jetting je aditivní výrobní proces, při kterém průmyslová tisková hlava selektivně ukládá kapalně pojivo na tenkou vrstvu práškových částic kovu, písku, keramiky nebo kompozitu. Proces se opakuje vrstvu po vrstvě ze souboru digitálního návrhu, dokud není objekt dokončen. ExOne, který byl původně vyvinut na Massachusettském technologickém institutu počátkem 90. let, získal v roce 1996 licenci na tuto metodu 3D tisku. O dva roky později společnost ExOne uvedla na trh první komerční pojízdnou 3D tiskárnu kovů. V roce 2002 tato společnost uvedla na trh svou první pískovou 3D tiskárnu S15 pro tisk pískových forem a jader pro průmyslové odlitky.

V současné době 3D tiskárny ExOne využívají k tisku více než 20 druhů písku, kovů, keramiky a různých kompozitů. Proces přípravy souboru před tiskem je méně komplikovaný jelikož, není potřeba programování, jako je běžné u jiných technologií. Tisk probíhá na základě 3D modelu nejčastěji typového souboru STL. Již hotová 3D data lze přímo na tiskárně modifikovat ve všech osách, zadávat smrštění, měřítko, zrcadlení a podobně. Technologie tisku písku není omezena složitostí tvarů ani možností od formování. Další výhodou je, že v závislosti na aplikaci, některé materiály, jako je písek, nevyžadují žádné další dodatečné zpracování. Je tu ale možnost stejně jako u jiných materiálů, jako jsou například kovy, které se po tisku vytvrzují a slinují, aby bylo dosaženo vyšší hustoty než 97 %. Výrobci tiskáren ExOne a Altair spolupracují s globálními výrobci automobilů na odlehčení stávajících konstrukčních částí vozu. Nové díly, jsou v mnoha případech o více než 45% lehčí než díly originální. Vyžadují méně výrobních procesů a snížilo se i množství svařování potřebného k připevnění dílů na vozidlo. [16]

### 4.1 Princip metody



Obr. 18 Postup metody Binder Jetting [19]



Obr. 19 Princip metody Binder Jetting [19]

## 4.2 Typy písků kompatibilních se Sand Print tiskárnou S-Max

Písek je pro tiskárnu S-max základním stavebním materiálem. Každá firma disponující tiskárnou S-MAX, se před samotným nákupem musí rozhodnout, s jakou frakcí křemičitého písku bude v budoucnu tisknout. Společnost Modelárna Liaz se rozhodla pro frakci písku s rozměrem zrna 0,19mm s výrobním označením F003. Frakce písku nelze jednoduše měnit. Technologická změna tohoto parametru by byla velice finančně náročná. Nejen, že by se všechny zásobníky písku museli důkladně očistit, a to i chemicky, také by byla zapotřebí vyměnit tisková hlava. Výrobce stroje nabízí různé tiskové hlavy pro velikosti zrn od 0,14 mm až 0,28mm. Velikost zrn musí být co nejvíce stálá a tvar jednotlivých zrn co nejvíce zaoblený.

## 4.3 Furfuryl Alcohol - Furan

Furfuryl Alcohol, látka kterou jsou spojované, slepované částičky písku. Dostupný na stránkách výrobce pod označením FB001 Binder. Furfurylalkohol, často také označován jako Furan. Označuje se jako hořlavá látka. Při termickém rozkladu vznikají nebezpečné hořlavé plyny, v mnoha případech i výpary. Při vyšších teplotách vytváří společně se vzduchem výbušné směsi. Při vdechování je Furan zdraví škodlivý, také při styku s kůží a požití této látky. Má neblahé účinky na vodní organismy. [23]

### Výskyt ve skupenstvích:

- **Pevné skupenství:** v tomto skupenství se Furan nevyskytuje
- **Kapalné skupenství:** v kapalném skupenství působí jako bezbarvá, až nahnědlá kapalina s lehce pronikavým zápachem
- **Plynné skupenství:** v tomto skupenství vznikají páry, jež jsou těžší než vzduch



#### Vlastnosti:

- **Hořlavost:** hořlavý
- **Horní mez výbušnosti:** 16,8 %
- **Dolní mez výbušnosti:** 1,8 %
- **Molární hmotnost:** 98,10 g.mol<sup>-1</sup>
- **Rozpustnost:** rozpustný ve vodě, je těžší než voda
- **Toxicita:** zdraví škodlivý při vdechování, styku s kůží a při požití
- **Těkavost:** ano
- **Reaktivita:** citlivý na přítomnost vzduchu, při kterém může explodovat [23]



Obr. 20 Furan v kubíkové nádrži [vlastní foto]

#### 4.4 Modelárna Liaz

Firma Liaz Spol s.r.o. disponující tiskárnou ExOne S MAX garantuje, že je schopna dodat výtisk po doručení 3D dat ve velice krátkých časech, i do jednoho dne. Odlitky ze slitiny hliníku do dvou dnů. Přesnost vytisknutého dílu je 0,3mm. [17]



Obr. 21 ExOne MAX 3D tiskárna firmy Modelárny-Liaz [16]

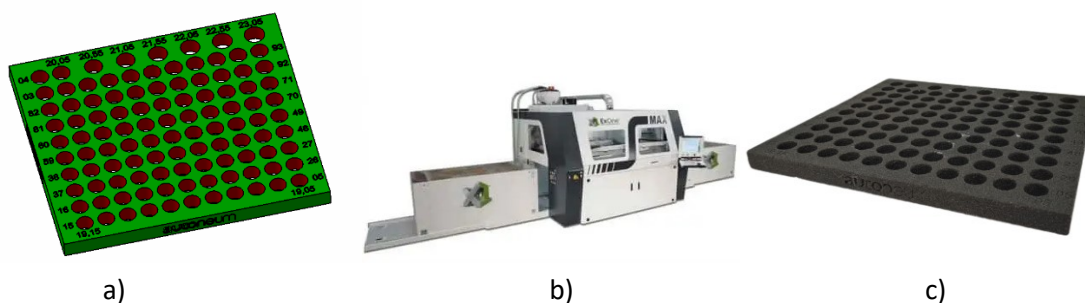


#### Technické parametry ExOne S MAX :

- **Maximální rozměry výtisku:** 1800 x 1000 x 700 mm
- **Rychlost tisku:** 65-85 dm<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>
- **Velmi komplikované tvary:** ano
- **Výrobce této tiskárny:** německá firma ExOne GmBh
- **Přesnost formy:** ±0,3mm
- **Teplotní odolnost tištěného materiálu:** 1200 - 1500 °C
- **Zrnitost používaného písku:** 0,19 mm
- **Pevnost písku v ohybu:** 180-220 N.cm<sup>-2</sup>
- **Prodyšnost:** 180-300 GP (normální jednotka prodyšnosti, značená často také (n.j.p))
- **Měrná hmotnost tištěného písku:** 1500 kg.m<sup>-3</sup>
- **Výška jedné tištěné vrstvy:** 0,26 – 0,38 mm [17]



Obr. 22 Vysávání písku z boxu po dokončení cyklu tisku Modelárna-Liaz [vlastní foto]



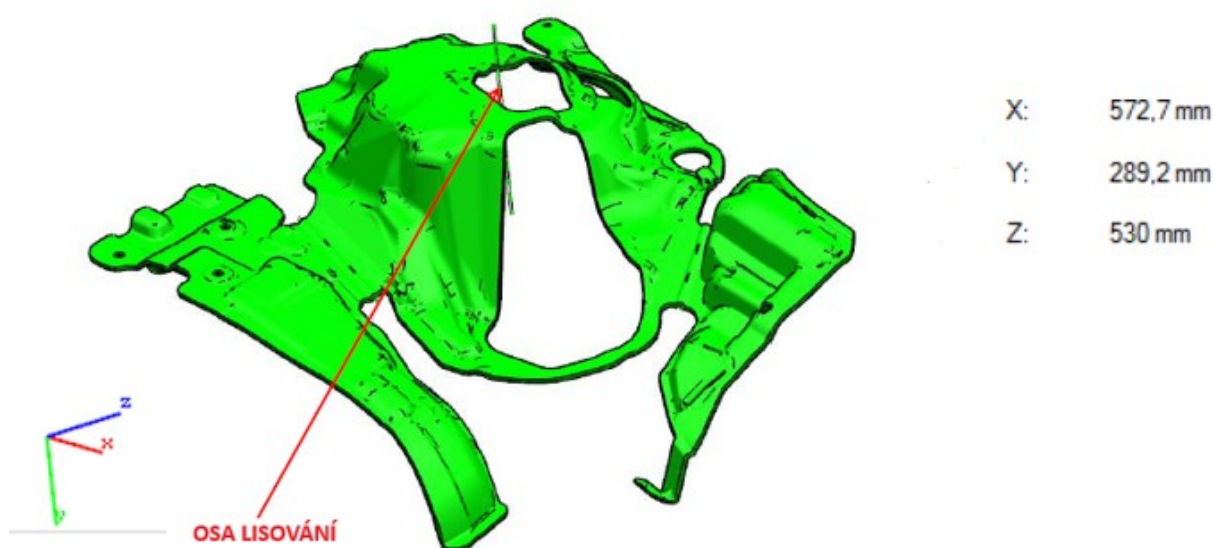
Obr. 23 Vyvoj dílu od návrhu po finální produkt a) Design modelu exportovaný do STL b) 3D tiskárna ExOne S max c) vytištěný a pryskyřicí napuštěný finální díl [vlastní foto], [16]

## 5 KONSTRUKCE PROTOTYPOVÉHO NÁSTROJE

Tato kapitola pojednává o problematice konstrukce prototypového nástroje. A shrnuje konstrukční náležitosti pro dosažení co nejlepšího výsledku lisování v závislosti na předchozích zkušenostech firmy Autoneum.

### 5.1 Konstrukční díl

Tento typ dílu se v autech vyskytuje za účelem akustického prvku odhlučnění. V tomto případě odhlučnění mechanického komponentu, skříně převodovky. Námi zvolený díl se vyznačuje obtížnou geometrií. Různá místa tohoto dílu při stříhu v jednom směru, tedy od osy lisování, překračují na originálních datech sklon  $20^\circ$ . Tento úhel byl určen experimentálně v mnoha předchozích projektech. Proto místa s překročením dovoleného úhlu musíme vyhnout.



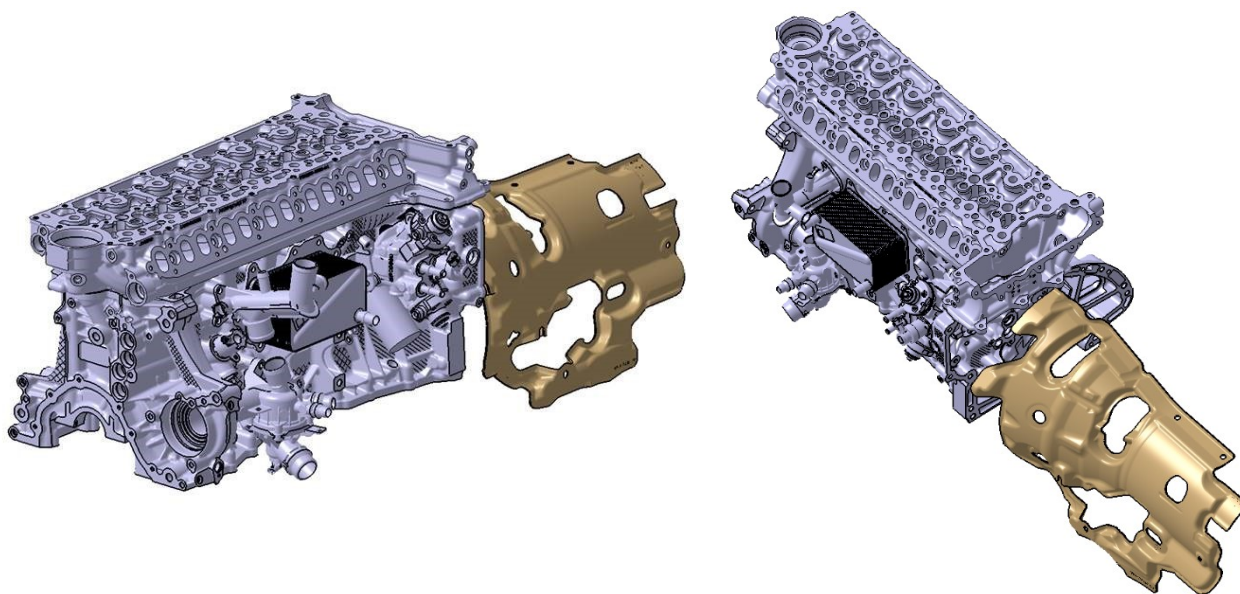
Obr. 24 3D originální data Jaguar [vlastní foto]

#### 5.1.1 Materiál dílu

Materiál, ze kterého se bude náš díl lisovat, je nazýván "firemním" označením, dále značím jako materiál MatAt1. Přesné označení bohužel není možné v této práci uvést. Materiál je vyvíjený společností Autoneum od roku 2012. Jedná se o materiál podobného složení, jaké má běžná PUR pěna. MatAt1 v podobě předem připraveného blanku, tedy uříznutého polotovaru se vloží do elektrické pece a nahřeje se na teplotu  $200^\circ\text{C}$ . Horký polotovar se vloží do prototypového lisovacího nástroje. Po vylisování se díl začne chladit a až při dosažení požadované teploty se vyndává z formy. V této práci z důvodu velice střežených informací ohledně přesného složení materiálu nemohu sdělit více informací. Standardně se používá složení materiálu MatAt1 ve spojení s MatAt2. MatAt2 je také materiál vyvíjený společností Autoneum. Obsahuje ve své struktuře skelná vlákna, která jsou nosným prvkem spojení těchto dvou materiálů.

### 5.1.2 Zástavba dílu v automobilu

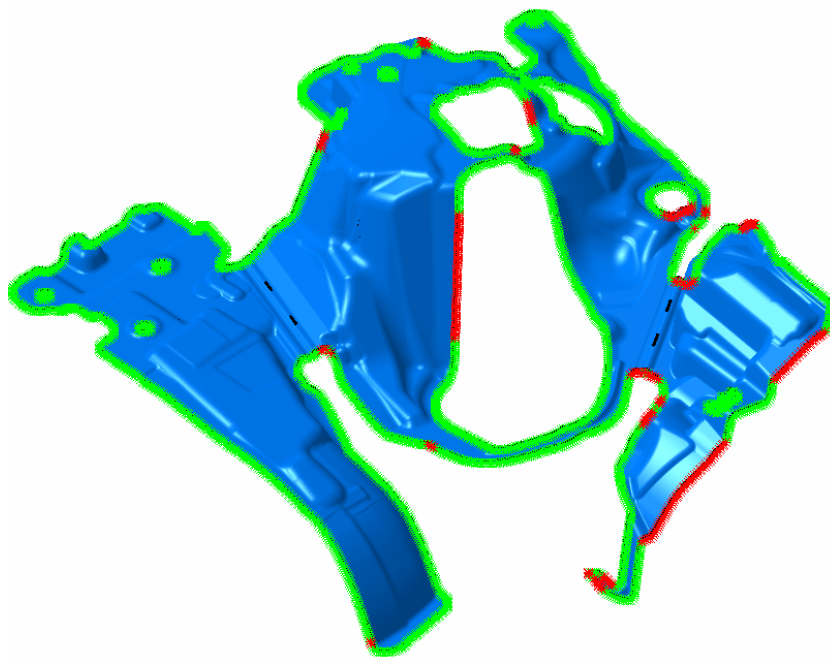
Běžně se dělají akustické izolace mezi kabinou a motorovým prostorem. Tři typy Dash Outer oddělující kabinu automobilu a oblast motoru ze strany motoru. Dash Inner, obdobná funkce, pouze s montáží izolace ze strany kabiny a třetí izolace kapoty. Jelikož lisovací nástroj, který navrhujeme pro tento akustický díl montovaný na převodovou skříň je relativně z aktuálního projektu, tak se mi nepodařilo sehnat zástavbový model. Proto použiji stejný typ dílu a předvedu na obrázku, na kterém je vidět izolačně akustický díl světle hnědé barvy montovaný za motor na převodovou skříň. Zástavbové foto slouží pro lepší představu, kde se může námi vyráběný díl v automobilu nacházet.



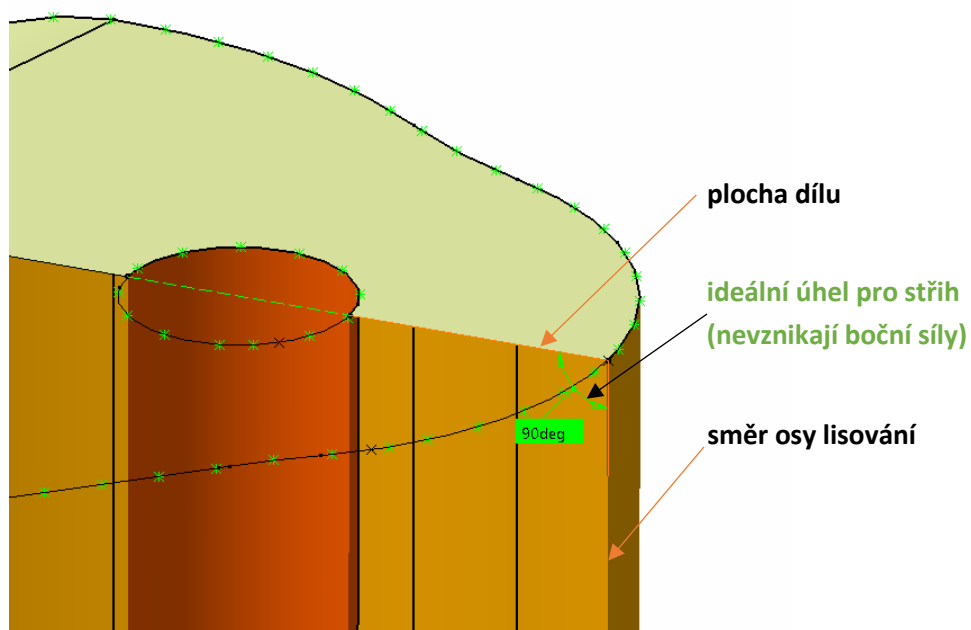
Obr. 25 Podélně uložený šestiválcový blok motoru s akusticko-izolačním dílem [vlastní foto]

## 5.2 Pinch banka

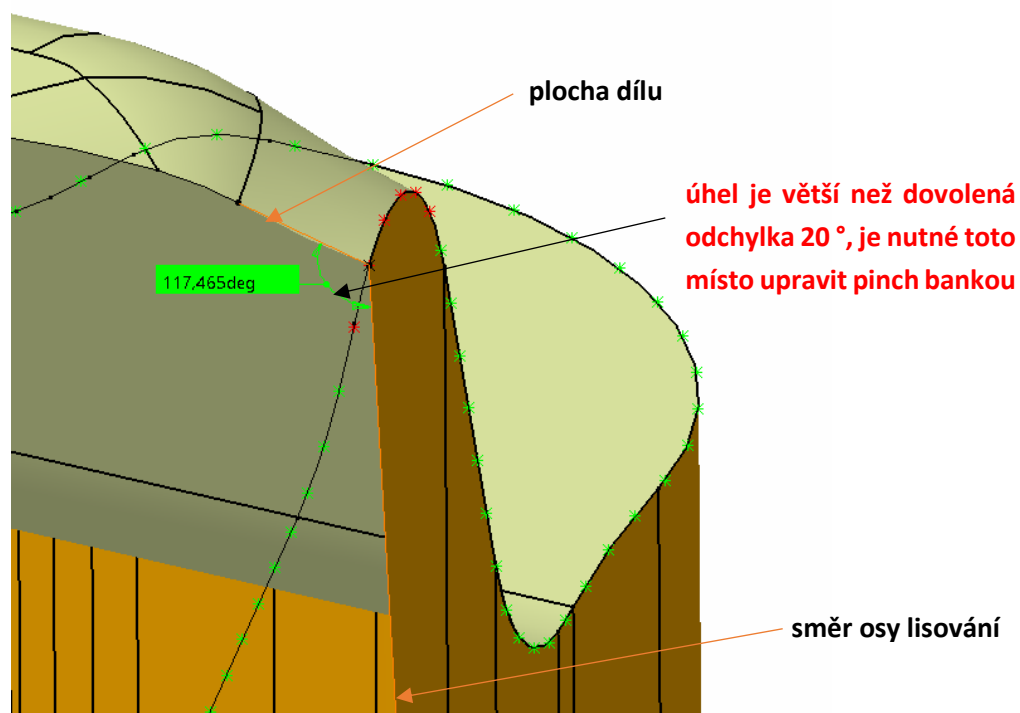
Pinch banka je stanovený termín používaný v naší firmě. Jedná se vyhnutí kontury dílu i kontury děr. Toto vyhnutí samozřejmě musí být v souladu, aby byly dosažené předem definované hodnoty výsledného dílu. Tedy zákazníkem stanovená výrobní hodnota odchylky od normálové kontury dílu a děr originálních dat. Na zjištění přesažení dovoleného úhlu používáme makro, které nám kontroluje úhel v předem stanovených intervalech. To následně označí měřený bod zelenou barvou (dovolenou hodnotu) nebo červenou barvou (zakázanou hodnotu). U každého takto vyhodnoceného bodu nám makro zapíše hodnotu odchylky. Osobně kontroluji zelené body, které se blíží maximální hodnotě a dále konzultuji dané místo s vedoucím konstrukční části.



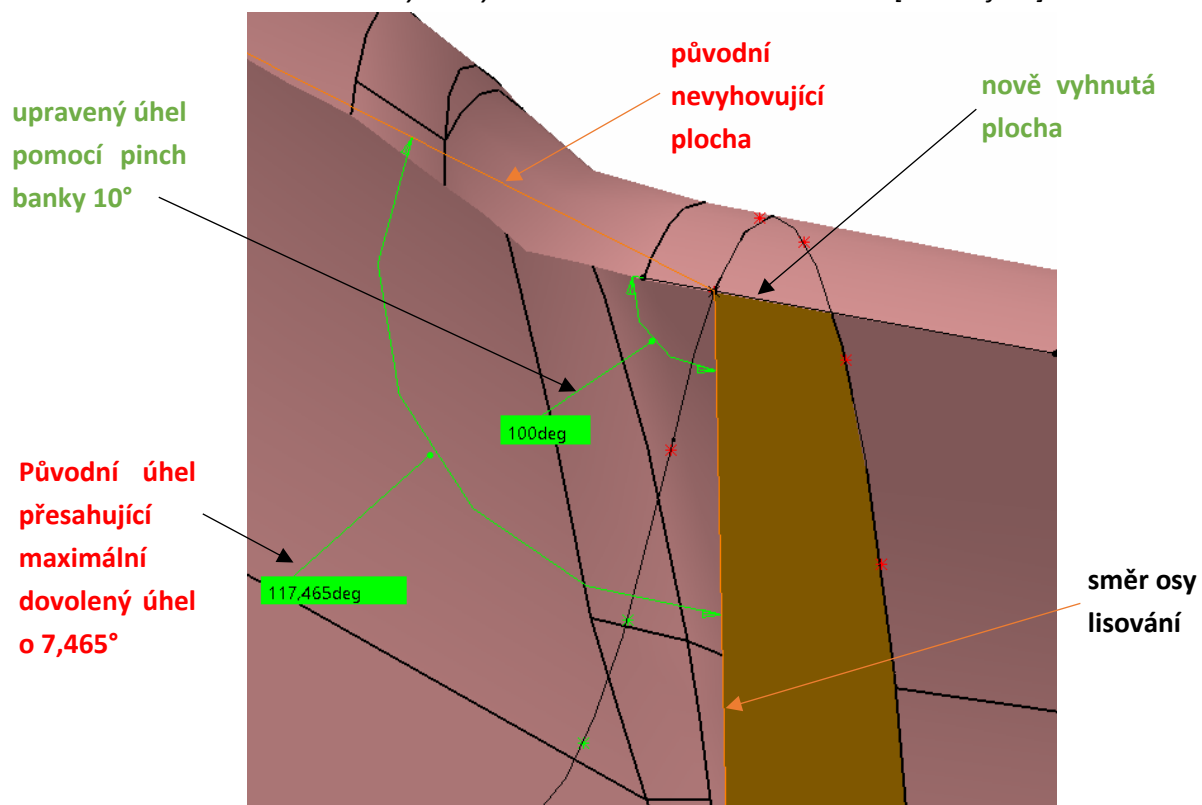
Obr. 26 Analýza vyhodnocení špatného (červeně) a dobrého (zeleně) úhlu pro stříh, značení dílu  
[vlastní foto]



Obr. 27 Analýzou vyhodnocené a zkontrolované místo[vlastní foto]

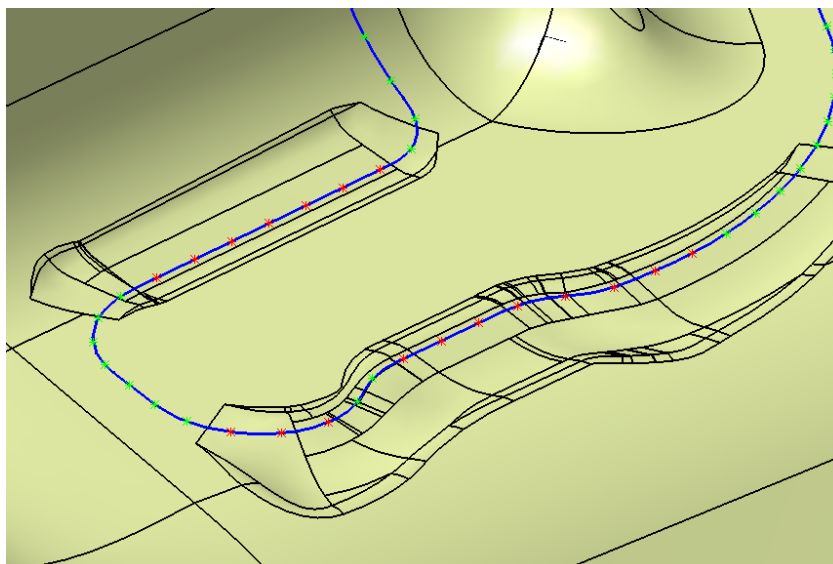


Obr. 28 Analýzou vyhodnocené a zkontrolované místo [vlastní foto]



Obr. 29 Opravené místo pomocí pinch banky [vlastní foto]

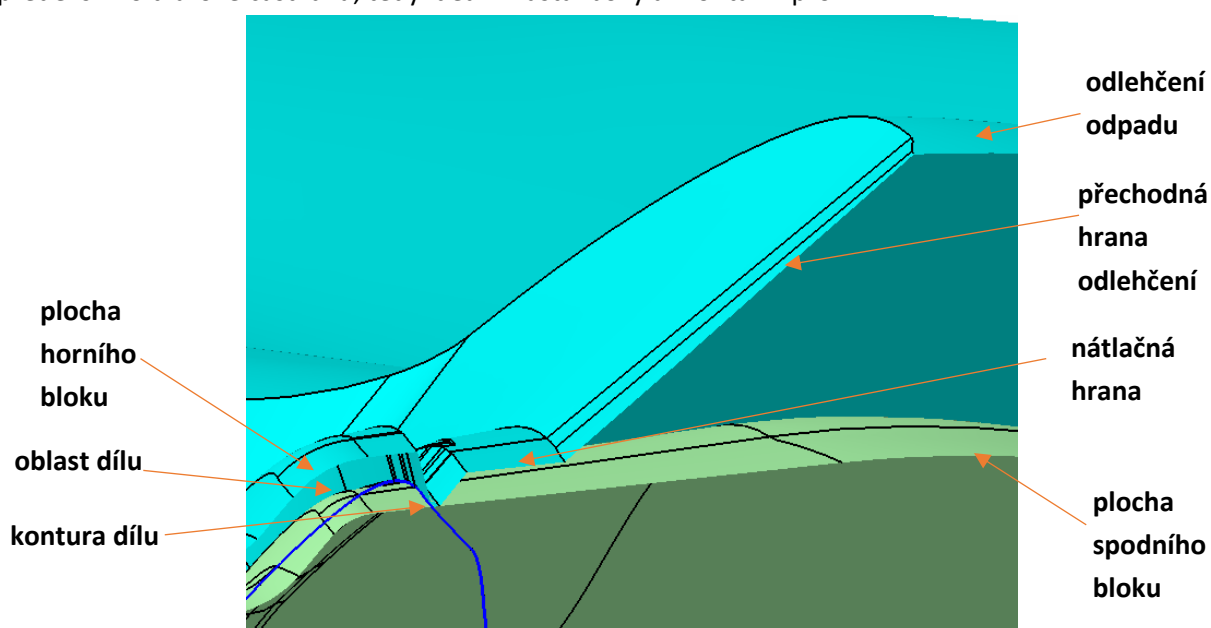




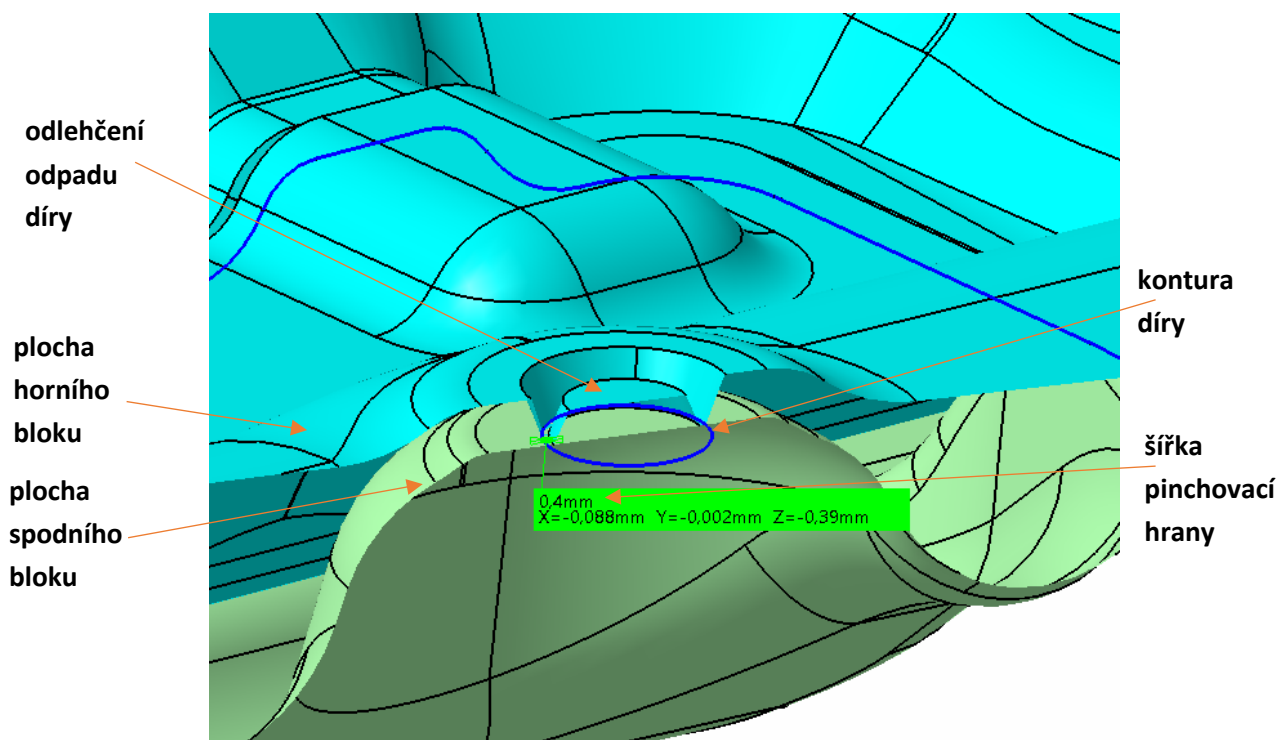
Obr. 30 Opravené místa pomocí pinch bank v místech nevyhovující úhlové analýze [vlastní foto]

### 5.3 Pinchovací hrana

Pinchovací hrana slouží u kovových nástrojů jako nástroj střížný, ale již v operaci lisování. A tím pádem umožňuje v mnoha případech tvary bez nutnosti střížného nástroje, následně ušetření peněz jak při výrobě, tak při samotném lisování a stříhání výrobního dílu. V mnoha případech je nutné samotný díl vyhnout, proto jsme zavedli pojem pinch banka. Ne vždy je možné daný tvar stříhat pouze v jednom směru. U prototypových lisovacích nástrojů není ve většině případech možné samotný díl vystříhnout, ale pouze naznačit konturu dílu. Proto i v našem prototypovém nástroji využijeme pinchovací hranu pro vyznačení kontury a následně se díl dostříhne nůžkami. Jelikož tlak na dokonalé vystřížení násobně převyšuje dovolený tlak na prototypový nástroj tištěný z písku. Zákazníkovi jde především o tvarové části dílu, tedy ideální zástavbový a montážní profil.



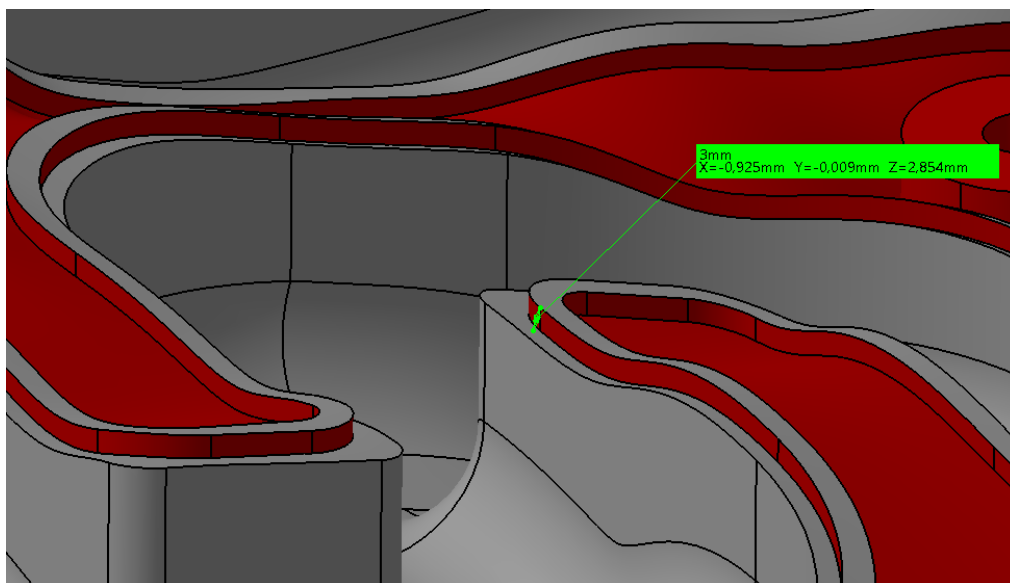
Obr. 31 Profil pinchovací hrany u kontury dílu [vlastní foto]



Obr. 32 Profil pinchovací hrany u kontury děr [vlastní foto]

## 5.4 Těsnící drážka a pero

Těsnící drážka slouží pro zajištění ideálního rozložení silikonu a spojení lepeného spoje se spodním blokem a spodní skořepinou. Stejně tak mezi horním blokem a horní skořepinou. Výška těsnícího pera na skořepinách je 3 mm a šířka 4 mm. Hloubka těsnící drážky v blocích je 4 mm a šířka 6 mm. Zde se nachází dostatečná vůle pro silikon. Impregnace ploch mezi drážkami uvnitř kanálu je označena šedou barvou, aby bylo jasné, kde se bude povrch impregnovat a mechanik na tuto operaci při nanášení silikonu Tytan nezapomněl.



Obr. 33 Pero na těsnícím víku, tedy spodní a horní skořepině [vlastní foto]

## 5.5 Kanál spodního a horního bloku

Kanál chlazení vodou. Kanál je opatřen vrstvou Tytan vysokoteplotní silikon pro dodržení impregnace a utěsnění kanálu. Kanál a potřebné plochy opatřené touto silikonovou vrstvou jsou stejně jako spodní a horní víka chladicí poloviny nástroje vodou.

Tab.3 Tabulka technických parametrů vysokoteplotního silikonu Tytan [24]

Technické parametry	
<b>Báze:</b> acetoxy – kyselý	<b>Tepelná stabilita:</b> -65 ÷ +260 °C
<b>Pohyblivá přizpůsobivost:</b> ±20%	<b>Tvrdost dle Shora A:</b> cca 22
<b>Barvy:</b> Červená	<b>Teplotní odolnost:</b> až +315°C
<b>Splňuje požadavky:</b> ISO 11600	<b>Trvalá elasticita:</b> po úplném zaschnutí
<b>Modul tažnosti při 100% natažení:</b> 0,50 MPa	<b>Tvorba povrchové slupky:</b> 5-30 min. při 23°C / 50% relativní vlhkosti
<b>Odolný:</b> vůči vysokým a nízkým teplotám	<b>Dobře odolává:</b> mnoha chemikáliím



Obr. 34 Drážka na těsnícím víku [24]

## 5.6 Bezvýkresová dokumentace

Konstrukční oddělení v Hnátnici je rozděleno na dvě skupiny konstruktérů. Jedna půlka pracujících v programu Catia V5 a druhá v Siemens NX. Usnadnění práce konstruktérům a zrychlení celé výroby nástrojů umožňuje bezvýkresová dokumentace. Pro dodržení velice přesných tolerancí máme zavedený standard barevného značení tolerancí. Výkresy děláme pouze sestavové, které obsahují maximální rozměry nástroje, výšky, šířky a délky. Průměry manipulačních závitů a jejich poloha a také pokud se v nástroji nachází, tak rozměry a polohu výběru otvoru na vidle ještěrky. Hlavním důvodem proč vytváříme tento výkres jsou pozicové odkazy. V případě poruchy nakoupené součásti je zákazník schopen dle pozice vyhledat v kusovníku přesný objednávací kód, rozměry a jiné potřebné technické informace.



U každého obráběcího stroje na montovnách, svařovnách, lakovnách, modelárnách je z důvodu bezvýkresové dokumentace nutný přístup k PC s nainstalovaným PML systémem. Konkrétně v závodě Autoneum Hnátice používáme PLM systém Teamcenter od společnosti Siemens. Každý model nakreslený či stažený od různých dodavatelů, nákupních položek, je přeložen do souboru JT. Na každém výrobním pracovišti musí být možné otevřít, změřit, vytvořit řez součástí či sestavy a mnohé další funkce. Tuto funkci nám zastává prohlížeč Teamcenter Visualisation. Mimo JT, které generuje při odeslání procesu automaticky překladač, přikládáme k jednotlivé pozici různé jiné dokumenty. U výpalků soubory DXF. Sestavné výkresy v PDF formátu a mnohé další.

REN 22 0302 - Příloha P02

Autoneum CZ s.r.o.

autoneum

Definice barev pro "Bezvýkresovou výrobu"							
Barva	Poznámka - příklad použití (RGB NX)	Typ opracování	Tol. Rozměru	Tol. polohy	Drsnost Ra	RGB	
	metrický závit(pravý) DIN/ISO (6)	Metrické závit	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		255,255,0	
	trubkový závit(pravý) DIN/ISO (174)	Trubkové závit (G)	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		51,51,0	
	všechny ostatní spec.závit (114)	Speciální závit/otvory pro závit. vložky	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		255,095,0	
	jemný metrický závit(pravý) DIN/ISO (78)	Jemné závit	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		255,175,0	
	tvářené metrické závit(pravý) DIN/ISO (31)	Tvářené závit M	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		0,255,255	
	tvářené G závit(pravý) DIN/ISO (50)	Tvářené závit G	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15		153,204,204	
	Uložení (85)	g7 (G7)	g7 (G7)	+/-0,02	Ra 0,8	153,153,255	
	Uložení (202)	H8/h7	H8/h7	+/-0,02	Ra 0,8	95,0,95	
	Uložení (211)	H7/h6	H7/h6	+/-0,02	Ra 0,8	0,0,255	
	Vrtání (181)	volné vrtání, kombinace průměrů vrtání,hluboké vrtání	ČSN ISO 2768 mK	+/-0,15	Ra 6,3	255,0,255	
	Vrtání - možnost pro jiný okruh (pára)					255,153,255	
			Díra - vybrání vnitřní rozměr	Hřídel - vložka vnější rozměr			
	Zalícované plochy vložek a vybrání, vedení, uzavírací, nátičné, střížné hrany, drážky pro pera (4)	Jemné obrábění	0/+0,01	-0,01/0	+/-0,01	Ra 1,6	255,255,175
	Dosedací plochy segmentů, stykové plochy (75)	Přesné obrábění	0/+0,05	-0,05/-0,1	+/-0,05	Ra 3,2	255,175,175
	Méně přesné vodič a kluzné plochy (75)					Ra 0,8+1,6	
	Funkční plochy, 3D fukční tvary (15)	Středně přesné obrábění	0/+0,1	-0,1/-0,2	+/-0,1	Ra 1,6-3,2	175,255,175
	Výběhy, odlehčení, volná vybrání (198)	Obráběno-frézováno, ploch.odl. s příd.	+/-0,2	+/-0,2	+/-0,2	Ra 6,3	175,0,0
	Polotovary, výpalek, odlitek, nefunkční rozměry (108)	Neobráběno, zarovnáno					0,170,0
	Prvek popsán v CAD modelu (přesah, vůle) (87)	Speciál obrábění/speciální tolerance					155,155,155
	Křivky oblasti návaru (87)	Označení oblasti návaru					255,0,0
	Křivky oblasti změn (36)	Označení oblasti změny					0,255,0
	Křivky polotovarů 3D obráběných dílů	Hrany polotovarů					255,255,255
	Střížná křivka - ostrá hrana, Obrys dílce - Nominál	Ostrá hrana, Obrys dílce					0,0,255
	Obrysová křivka dílce - Toleranční pole KM	Toleranční pole					255,0,255

Platnost: od 20.07.2018

Obr. 35 Značení bezvýkresové výroby dle barev [vlastní foto]

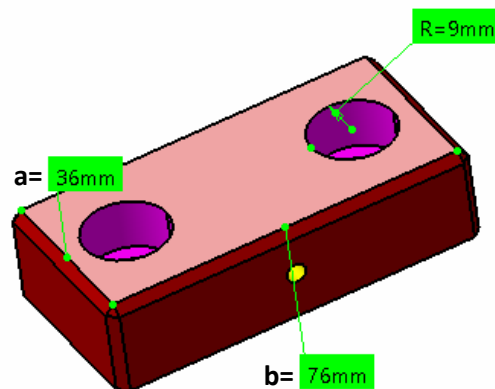
## 5.7 Dimenzování dorazů

Jedním z konstrukčních prvků nutných k dodržení bezpečnosti nástroje je navrhnutí počtu dorazů v nástroji. Určitou bezpečnost zajistíme vždy předdimenzováním. Dorazy jsou jedním z hlavních celků každého nástroje. V prototypovém nástroji plní důležitou funkci. Při jejich absenci, jsem si jistý, že by daný nástroj nevyšloval ani jeden díl, jelikož by praskl. Pod spodní dorazy montujeme planžety o výškách 1x1 mm, 1x0,5 mm, 2x0,2 mm a 1x0,1 mm. Tímto způsobem doladíme ideální vmáčknutí pinch hran, naznačení kontury a děr. Horní dorazy slouží pouze jako dorazy přepravní. Při samotném lisování jsou odmontovány.

### 5.7.1 Výpočet počtu dorazů

Velice jednoduchý výpočet, kterým si ověříme počet nutných dorazů. Výsledek vždy zaokrouhlíme na nejbližší vyšší sudé číslo.

- **Pozice dorazu:** 19063299\_012\_00
- **Rozměr dorazu:** 80x40-20 [mm]
- **Materiál dorazu:** 11 500
- **Pro materiál 11 500 dovolené míjivé napětí v tlaku:**  $\sigma_{dov}$  100 [MPa] [26]
- **Celková tonáž lisu:** 30 000 [Kg]
- **Celková síla lisu:**  $F_{lisu}$  294 300 [N]
- **Styčná plocha bez děr pro šrouby:**  $S_1$  [mm<sup>2</sup>]
- **Plocha díry pro hlavu šroubu:**  $S_2$  [mm<sup>2</sup>]
- **Výsledná styčná plocha:**  $S$  [mm<sup>2</sup>]
- **Zatížení dorazů:**  $F_{dorazu}$  [N]
- **Koeficient bezpečnosti dorazů pískového nástroje:**  $k_2$  [-]
- **Teoretický počet dorazů:**  $D_n$  [-]
- **Výpočtový počet dorazů:**  $D$  [-]



Obr. 36 Doraz prototypového nástroje [vlastní foto]

$$S_1 = a \cdot b = 2\,736 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

$$S_2 = \pi \cdot R^2 = 254,47 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

$$S = S_1 - 2 \cdot S_2 = 2227,06 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

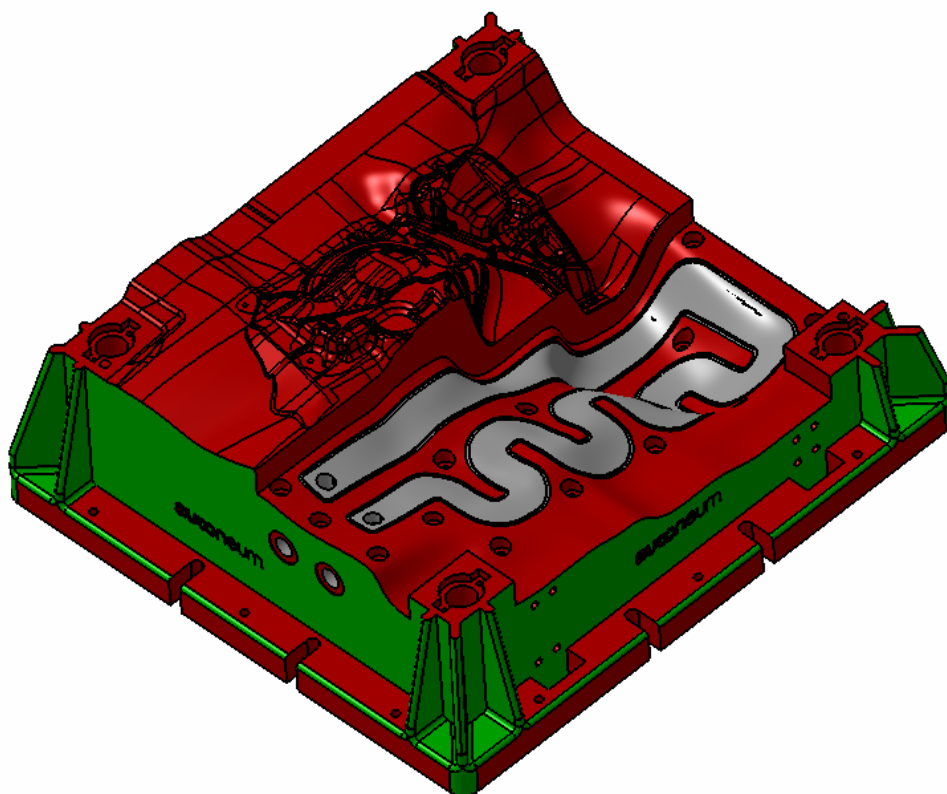
$$F_{dorazu} = \sigma_{dov} \cdot S = 222\,706 \text{ N} \quad (4)$$

$$D_n = \frac{F_{lisu}}{F_{dorazu}} = 1,32 \quad (5)$$

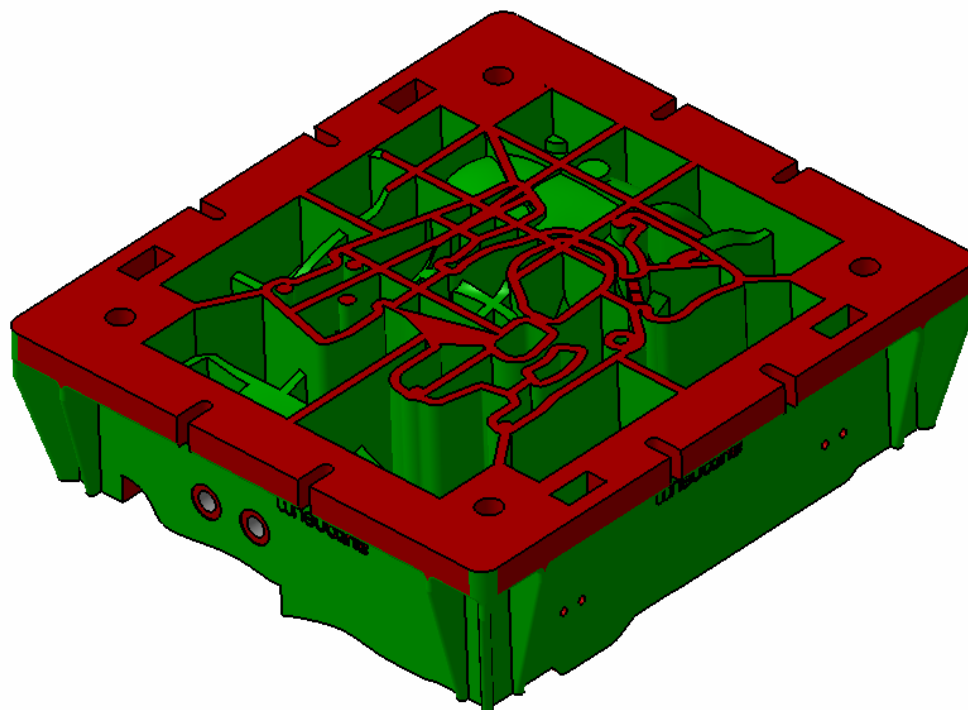
$$D = D_n \cdot k = 2,64 \quad (6)$$

Výpočet dorazů je třeba dále zaokrouhlit na nejbližší sudé číslo, které nám udává skutečný bezpečný počet dorazů. V našem případě jsou to 4 kusy.

## 5.8 Spodní blok

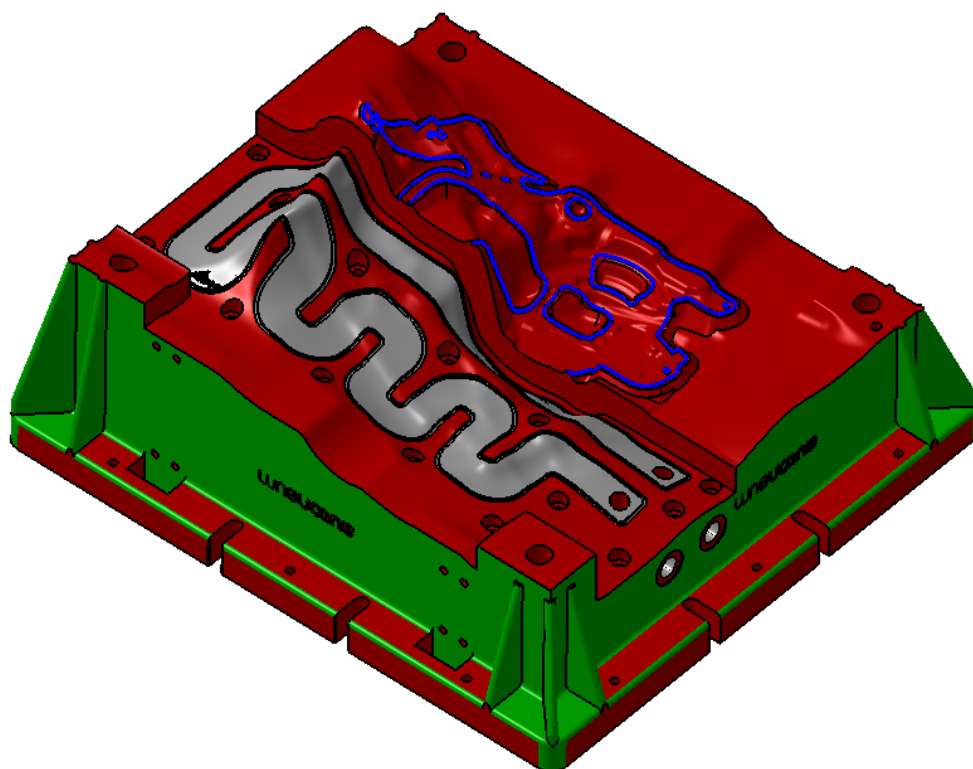


Obr. 37 Obrázek spodního bloku izometrický pohled ze zhora od základny [vlastní foto]

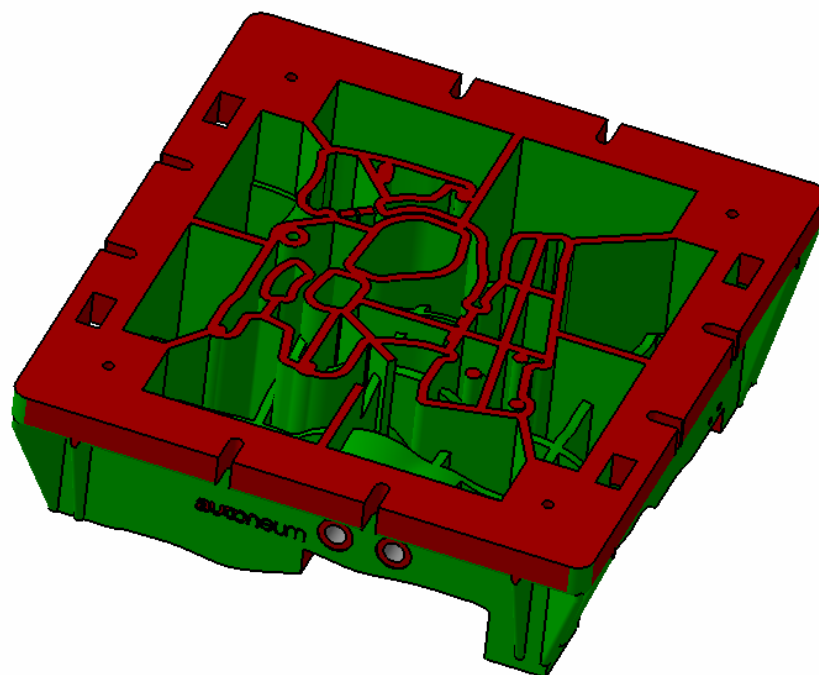


Obr. 38 Obrázek spodního bloku izometrický pohled ze spoda od základny [vlastní foto]

## 5.9 Horní blok



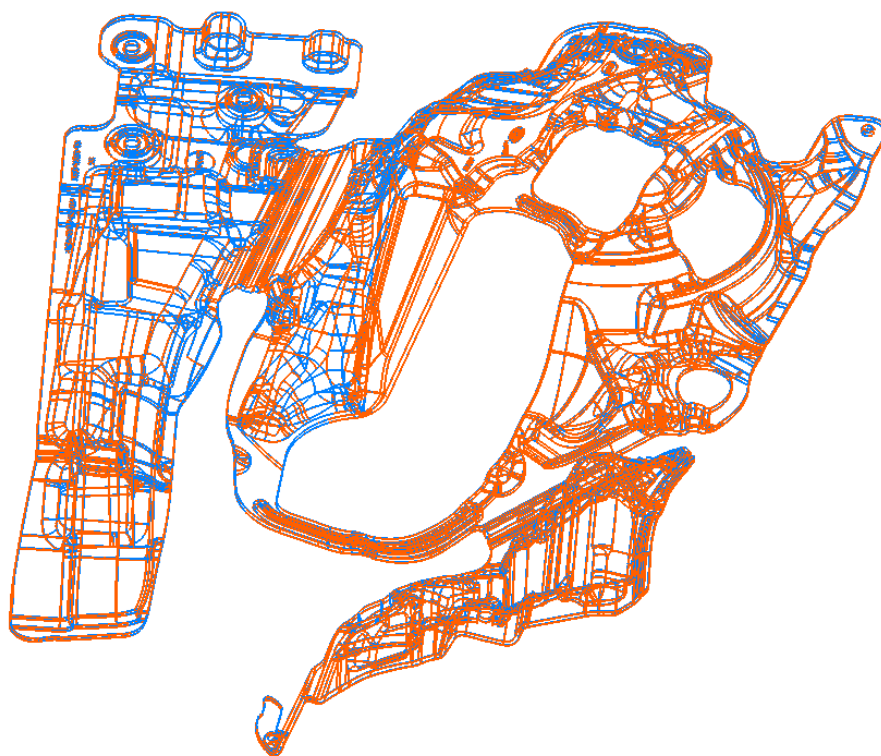
Obr. 39 Obrázek horního bloku izometrický pohled ze zhora od základny [vlastní foto]



Obr. 40 Obrázek horního bloku izometrický pohled ze spoda od základny [vlastní foto]

## 5.10 Scale - měřítko

V konstrukci originálních dat prototypového nástroje, jsem připravil parametr scale, tedy měřítko, které je všech třech osách shodné a je automaticky navázáno na všechny důležité elementy. Tím je vyřešen častý problém, že někdo zapomene některou hodnotu přepsat. Zvětšení či zmenšení měřítka v závislosti na metodě výroby a volbě materiálu. Toto není jediná možnost, existuje i taková, že se scale liší v osách x, y, z. To je nutné zvážit zejména pokud je díl úzký a dlouhý. V našem případě, kdy budeme nahřívat polotovár před lisováním v peci a následně lisovat v prototypovém nástroji do vychlazení, uvažujeme ve všech osách scale 1:1. Zadávaná hodnota do programu Catia V5 pro scale 1:1 je 1. Hodnota větší než 1 nám říká, že je plocha dílu větší než potřebný díl a počítá se zde se smrštěním na požadovanou hodnotu 1:1. Hodnota menší než 1, nám poukazuje na fakt, který se používá při obrábění bloků při 20 °C, kdy dochází k ohřevu vlivem obrábění a je nutné tuto hodnotu započítávat. Vypočítaná a experimentálně ověřená hodnota u obrábění ocelového bloku při 20 °C, který se následně ohřívá na 200 °C, je pro zadávání hodnota 0,998. U námi navřeného nástroje je chlazená pouze jedna půlka nástroje. Ze zadání od zákazníka uvažujeme, že na tomto prototypovém nástroji nebudeme lisovat tisíce ani stovky dílů, ale pouze jednotky. Uvnitř nástroje sledujeme pomocí termočlánků teploty pro případné doladění scale. Vyčkáme tedy, než nám díl vychladne. Následně budeme zapisovat hodnoty vychlazení jak na chladicí půlce nástroje, tak na druhé nechlazené. Otevření lisu bude probíhat až po ustálení hodnoty na teplotu 25 °C. Po vyndání dílu z lisu měříme případné smrštění dílu na obou půlkách nástroje. Toto měření nám poskytne důležité experimentální data, pro další vývoj prototypových nástrojů tištěných metodou Sand Print.



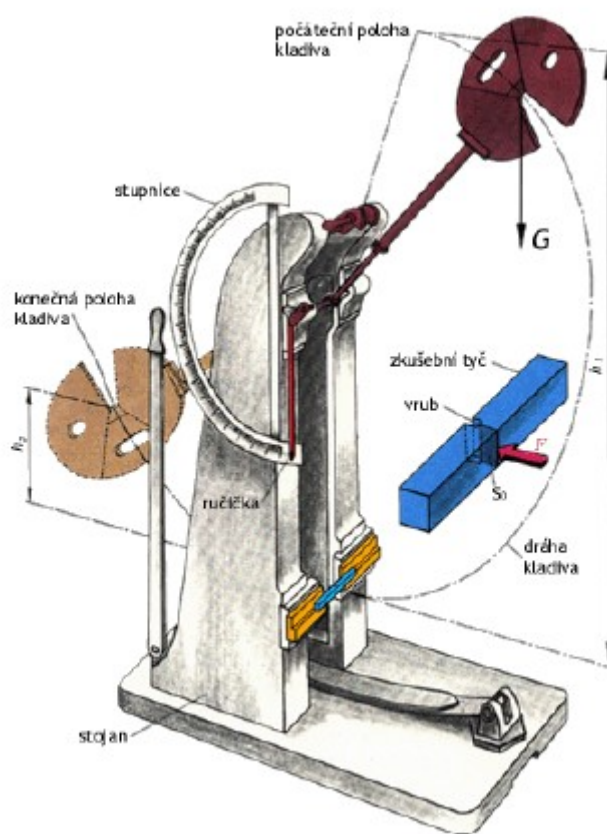
Obr. 41 Drátový model srovnání dat měřítko 1 (modrá) a měřítko 0,998 (oranžová) [vlastní foto]

## 6 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části uvedu několik různých experimentálních měření. Za účelem zjištění jistých mechanických vlastností a seznámením s danou problematikou této práce.

### 6.1 Zkouška rázem v ohybu

Metoda vrubové houževnatosti slouží ke zjištění velikosti spotřebované práce či energie na porušení zkušebního tělesa. Nejčastěji se zkouší pouze jedním rázem. V některých případech více rázy, jejichž výsledky se sčítají. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu či krutu.



Obr. 42 Charpyho kyvadlové kladivo [20]

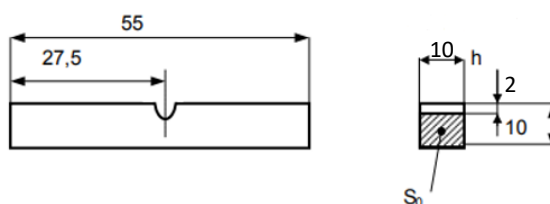
Měření kontroly tisknutých vzorků z písku, ve 3 osách tiskárny x, y, z jsem provedl v jedné z mých absolvovaných škol. Konkrétně na Střední Průmyslové škole VOŠ a SPŠ Rychnov nad Kněžnou. Samotné testování probíhalo v učebně kontroly a měření, kde se mimo dvou Charpyho kyvadlových kladiv nachází mnoho dalších přístrojů na měření. Zařízení, na kterém jsem prováděl měření, dle mého osobního názoru neodpovídalo zařízení kalibrovanému. Touto prací bych chtěl poděkovat za informace k měření paní učitelce Ing. Veronice Prilové, díky které se i v této nelehké době dal experiment do pohybu. Samotné měření jsem prováděl sám. Zařízení bylo třeba zprovoznit. Určité komponenty dotáhnout. Nebyl jsem si jist, jak přesně funguje zobrazování na stupnici a nezdáli se mi hodnoty ukazované na stupni. Tudíž jsem si sám daná čísla přepočítal, dle naměřených úhlů. Což byla vlastně jediná informace, kterou jsem pokládal z tohoto měření za důvěryhodnou. Naměřené výsledky jsem uspořádal do tabulky, jež je přílohou A.



Obr. 43 Charpyho kyvadlové kladivo VOŠ a SPŠ Rychnov nad Kněžnou [vlastní foto]

#### 6.1.1 Výpočet vrubové houževnatosti dle ČSN 42 0381

Samotné měření spočívá v přeražení zkušebního tělesa kyvným kladivem. Zkušební tyč s jistým tvarem vrubu uprostřed tělesa, v našem případě V, je vložena do spodní části stroje s opřením na obou koncích zkušebního vzorku.

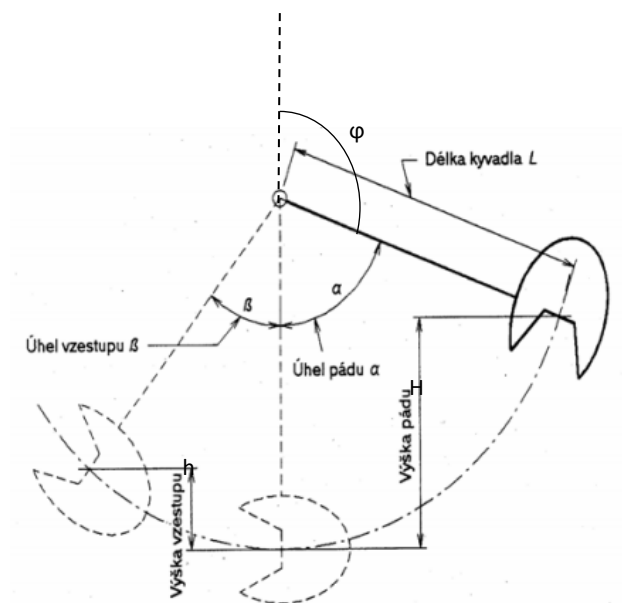


Obr. 44 Rozměrové hodnoty vzorku [vlastní foto]

Tab.4 Tabulka technických parametrů Charpyho kladiva

Evidenční číslo zařízení	PI – 274 (5-395-12-02)
Výrobní číslo	401/60
Datum výroby zařízení	1968
Maximální spotřebovaná práce $W=[\text{kp.m}], [\text{J}]$	1.5, 14.715
Hmotnost $m$ [kg]	2,035
Délka ramena $L$ [mm]	380
Počáteční úhel $\varphi$ [°]	20
Úhel pádu $\alpha$ [°]	160
Úhel vzestupu $\beta$ [°]	Proměnný úhel
Výška pádu $H$ [mm]	737,1
Výška vzestupu $h$ [mm]	Proměnná hodnota
Gravitační zrychlení $g$ [ $\text{m.s}^{-2}$ ]	9,81
Práce spotřebovaná na přeražení vzorku $W_s$ [J]	U každého vzorku jiná hodnota
Vrbová houževnatost $Kc2$ [J]	Proměnná hodnota





Obr. 45 Kyvadlo s důležitými parametry pro další výpočty [21]

Přepočet výšek za předpokladu počátečního úhlu, délky ramena kyvadla a celkového úhlu. Hodnoty jsou uvedené v tabulce 4.

**Výpočet vrubové houževnatosti:**

$$H = \frac{W}{m \cdot g} = \frac{14,715}{2,035 \cdot 9,81} = 0,7371 \text{ m} \quad (7)$$

$$h = L \cdot (1 - \cos \beta) \quad (8)$$

$$Ws = m \cdot g \cdot (H - h) \quad (9)$$

$$KC2 = \frac{Ws}{So} \quad (10)$$

Výsledky tohoto měření jsem uspořádal v příloze A. Tento materiál hodnotím jako velice křehký. Vyhodnocení výsledků tohoto měření nám ukazuje, že ve všech 3 měřených osách vykazuje podobné hodnoty spotřebované práce na přeražení vzorků. Výsledky vyobrazené v tabulce 5.

Tab.5 Tabulka s výsledky měření rozdílů tisku v různých osách tiskárny ExOne MAX

Průměrné KCV pro osu X [J.cm <sup>-2</sup> ]	Průměrné KCV pro osu Y [J.cm <sup>-2</sup> ]	Průměrné KCV pro osu Z [J.cm <sup>-2</sup> ]
5,511	5,490	5,514

Pokud bychom srovnávali výsledky s ocelí 11 523, která má hodnoty KCV okolo 62,5 [J.cm<sup>-2</sup>] byly by hodnoty impregnovaného písku o více než 10x menší, než jaké jsou uváděny pro ocel. Také se nám vyvrátil fakt, že pokud je vytištěný vzorek na výšku. Budeme potřebovat méně práce na přeražení takového vzorku. Výsledkem tohoto měření je, že nemá smysl blíže specifikovat informace vložení dílů do tiskárny ExOne MAX.



## 6.2 Měření pevnosti vytištěného vzorku v ohybu

Po každém tisku v Moderně Liaz v Liberci se hodnotí na zařízení vzorky, jež se nachází v každé vytištěné vaně. Vzorky jsou v tiskárně vytištěny v každém směru os X, Y, Z a jsou řádně označeny. Z důvodu odhalení vad tisku.



Obr. 46 Měřicí zařízení Simpson pevnosti písku v ohybu [vlastní foto]

## 6.3 Měření prodyšnosti

Měření prodyšnosti probíhá stejně jako měření pevnosti v ohybu v Modelárně Liaz v Liberci. Tyto hodnoty tedy považuji vzhledem k jejich bohatým zkušenostem pro tuto metodu jako dostačující. Samotné měření probíhá na zkušebních tělesech ve tvaru válce o výšce 50 mm a výškou také 50 mm. V našem případě tato hodnota pro nás není směrodatná z důvodu, že hodnoty prodyšnosti jsou měřené před impregnací epoxidem. V případě uvažování spodní a horní desky neimpregnované v oblasti dílu a pokud bychom brali v úvahu chlazení vzduchem. Tyto metody bychom mohli pro další výpočet použít. Museli bychom konstrukci nástroje pozměnit a využít spodního a horního víka v předpokladu podtlaku. Toto téma je prozatím v diskuzi. Každopádně tyto hodnoty pro případný podobný krok máme zaznamenané v intervalu měřených hodnot prodyšnosti. Prodyšnost po tisku s hrubostí písku 0,19mm, označením F003, nabývá hodnot 180-300 GP (n.j.p).



Obr. 47 Měření prodyšnosti na přístroji PDUD-DIGITAL Simpson [vlastní foto]

## 6.4 Měření tvrdosti

Měření tvrdosti vytištěného komponentu, bez dalších impregnací. Toto kontrolní měření probíhá po každém tisku. Kde jsou ve vaně vloženy pro každou osu tiskárny dva vzorky o rozměru 22,4x22,4x172 mm. Tedy na každý tisk 6 testovacích, kontrolních vzorků. Modelárna Liaz v Liberci stanovila minimální hodnotu tvrdosti na  $1,8 \text{ N.cm}^{-2}$ . Doporučená hodnota však dosahuje hodnoty  $2,2 \text{ N.cm}^{-2}$ . Dne 12.4. 2019, firma Liaz nedodržela svou striktně danou hodnotu tvrdosti na vzorku v ose z. Viz. tabulka 6. Dle mého firma Liaz měla uvážení konzultovat se zákazníkem. V případě namáhaných dílech by tento fakt mohl způsobit neblahé účinky.

Tab. 6 Tabulka s hodnotami tvrdosti poskytnutá firmou Modelárna Liaz.

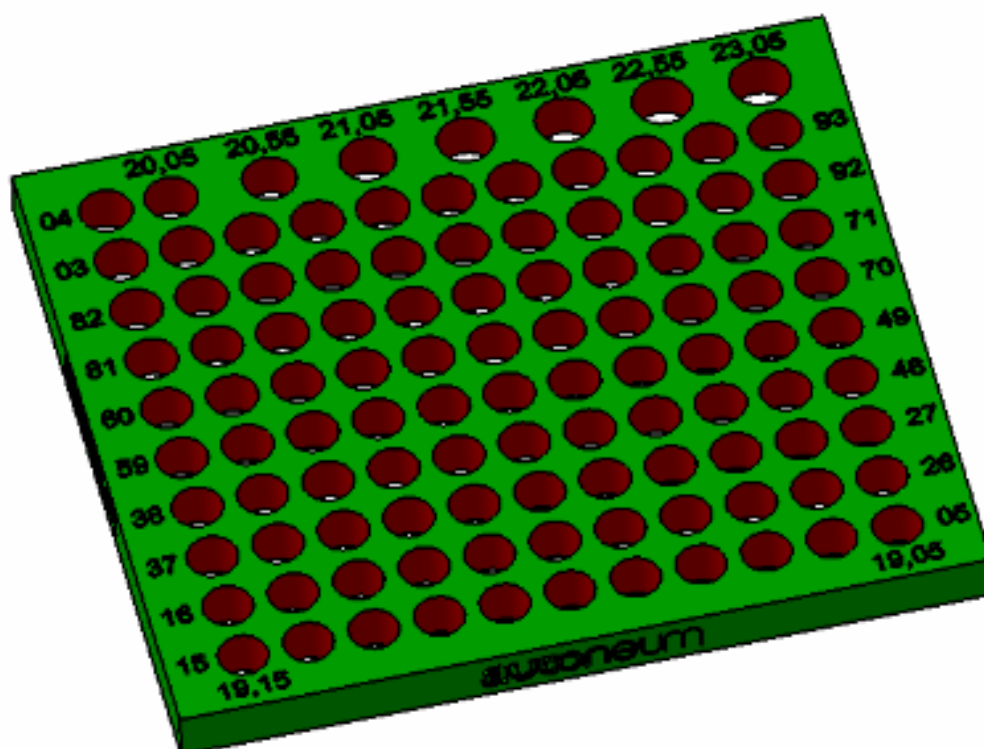
Datum tisku	Měření tvrdosti v $\text{N.cm}^{-2}$		
	Osa X	Osa Y	Osa Z
09.4.2019	4,1 4,1	3,5 3,9	3,1 2,8
11.4.2019	2,6 2,5	2,5 2,5	1,8 1,9
12.4.2019	2,5 2,5	2,0 2,1	1,4 1,5
08.5.2019	2,5 2,5	2,6 2,6	2,1 2,0
09.5.2019	2,1 2,1	2,5 2,5	2,0 2,1
10.5.2019	2,6 2,6	2,5 2,2	2,1 2,1
10.5.2019	2,6 2,5	2,4 2,8	1,9 2,1
13.5.2019	2,1 2,1	1,9 2,2	1,9 1,9

Tab. 7 Tabulka výpočtů pevnosti 3D tištěné pískové struktury ve zpevněném provedení

Vzorky	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Počáteční modul pružnosti v tahu [MPa]	Počáteční modul pružnosti v tlaku [MPa]
Základní provedení (nemáčené)	0.44	4.55	332.6	48.9
1× Máčené provedení WR 90 (Liaz)	0.42	26.17	51.6	748.8
1× Máčené provedení WR 90 (VÚTS)	0.49	24.96	71.9	609.1
2× Máčené provedení WR 90	2.51	25.15	154.3	819.0
3× Máčené provedení WR 90	3.22	22.93	155.9	258.9
Nasycené provedení	4.85	22.00	2190	8000

## 6.5 Měření přesnosti tisknutých děr

Tímto měřením si ověříme hodnoty dosažených metodou Sand Print. Bohužel nemůžeme z finančních důvodů měřit celý prototypový nástroj. Na co finance zbyly, jsou však testovací vzorky.



Obr. 48 Kontrolní deska s mnoha dírami [27]

Tab.8 Tabulka měření různých průměrů s výsledky z měření

Číslo měření	Nominální hodnota [mm]	Naměřená hodnota [mm]	Odchylka [mm]
1	19,05	18,469	-0,581
2	19,05	18,488	-0,562
3	19,06	18,504	-0,556
4	19,06	18,545	-0,515
5	19,10	18,566	-0,534
6	19,10	18,564	-0,536
7	19,15	18,528	-0,622
8	19,15	18,483	-0,667
9	19,35	18,814	-0,536
10	19,35	18,705	-0,645
11	19,43	19,016	-0,414
12	19,43	18,981	-0,449
13	19,49	19,081	-0,409
14	19,49	18,967	-0,523
15	19,59	18,950	-0,640
16	19,59	18,966	-0,624
17	19,73	19,130	-0,600
18	19,73	19,121	-0,609
19	19,76	19,259	-0,501
20	19,76	18,814	-0,811
21	19,79	19,262	-0,528
22	19,79	19,292	-0,498
23	20,04	19,416	-0,624
24	20,04	19,515	-0,525
25	21,55	20,987	-0,563
26	21,55	20,990	-0,560
27	23,05	22,573	-0,477
28	23,05	22,630	-0,420
Průměrná odchylka			-0,554

Pomocí softwaru Excel jsem tyto hodnoty odchylek sečetl a vydělil počtem měřených hodnot. Výsledná hodnota tolerance průměru je -0,554 mm. Tuto hodnotu použijeme při dalších konstrukcích děr. Jedná se o fakt, že hodnoty vytištěných otvorů, které jsou následně natřeny epoxidem, aby bylo dosaženo vyšší tvrdosti a pevnosti součástí, jsou vytištěné v průměru o 0,554 mm menší oproti modelovanému nominálnímu průměru. Protokol z měření na souřadnicovém stroji WENZEL LH 1512 najdeme v příloze B.

### 6.5.1 Souřadnicový stroj WENZEL LH 1512

**Označení LH:** portálový stroj

**Rok výroby:** 2001

**Délka os:** X=1500 mm, Y=2500 mm, Z=1200 mm.

**Zvýšená nosnost:** 7500 kg

**Zvýšená přesnost:**  $U1=2,2 + L/400 \text{ } \mu\text{m}$

$U3=2,7 + L/400 \text{ } \mu\text{m}$

**Vybavení:**

**Snímací hlava:** RENISHAW PH10M PLUS

**Systém sondy:** RENISHAW TP200

**Kontroler:** WENZEL WPC 2040

**Software:** WM Quartis



Obr. 49 Souřadnicový stroj WENZEL LH 1512 [27]

Společnost Autoneum Hnátnice vlastní souřadnicový stroj, který je postaven na izolovaném základu, základ je poměrně dost hluboký, kdysi stál na jeho místě lis. Tento základ byl propočítán, tak aby eliminoval jakékoliv vibrace. Se zvýšenou nosností je stroj vybaven také dvojnásobným počtem vzduchových válců, konkrétně 8ks, na těchto válcích je postaven. Stroj funguje jak v režimu manuálním, tak i CNC. Nachází se v klimatizované místnosti, kde se hlídá, jak teplota, tak vlhkost. Protože je stroj ustaven na vzduchovém polštáři, znamená to, že je potřeba čistý vzduch, který řeší nejen odkalovací nádobky na kondenzát, ale také vymrazovací zařízení, které ze stlačeného vzduchu vyčistí i ten zbytek nečistot.

## 6.6 Váha jednotlivých tištěných komponent

V závislosti na požadované striktně zadané maximální váze prototypového nástroje je třeba vypočítat hustotu impregnovaného výtisku z písku. Za pomoci kuchyňské váhy Bravo B 5156 zjišťují hodnotu tištěného dílu. Pro výpočet použijí srovnání objemu ze softwaru Catia V5 a reálnou váhu tělesa.

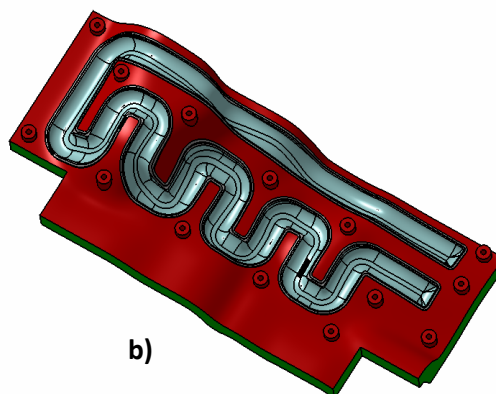
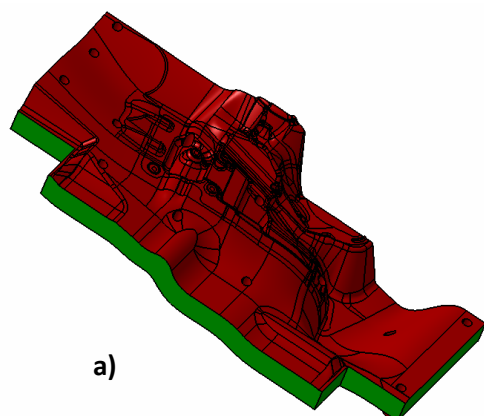
**Zkušební díl 19063299\_018\_00:**

- Objem tohoto dílu:  $V=0,001394 \text{ m}^3$
- Naměřená hmotnost impregnovaného dílu:  $m=2,477 \text{ kg}$

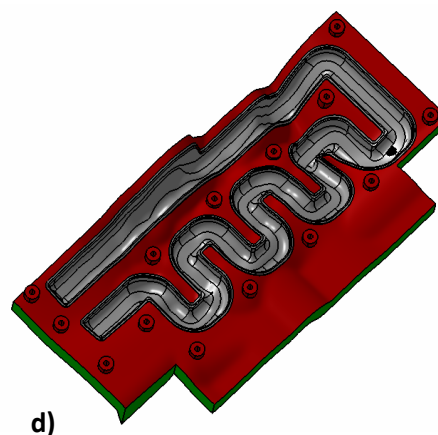
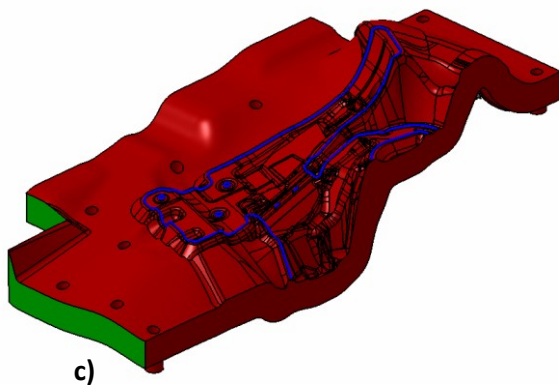
$$\rho_{\text{písku}} = \frac{m}{V} = 1776 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \quad (11)$$

Tab.9 Tabulka rozměrů a hmotností pozic

Číslo pozice	Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]
19063299_001 - SPODNÍ BLOK	1090x990-392	128,754
19063299_002 - HORNÍ BLOK	1090x990-482	210,190
19063299_009 – SKOŘEPINA	950x425-330	30,039
19063299_011 – SKOŘEPINA	950x425-331	33,484
Ostatní komponenty z oceli	-	94,117
<b>Celková hmotnost</b>		<b>496,584</b>



Obr. 50 Obrázek spodní skořepina 009 izometrické pohledy a) ze shora b) ze spoda [vlastní foto]



Obr. 51 Obrázek horní skořepina 011 izometrické pohledy c) ze shora d) ze spoda [vlastní foto]

## 7 SROVNÁNÍ METOD SAND PRINT VS KLASICKÁ VÝROBA NÁSTROJE

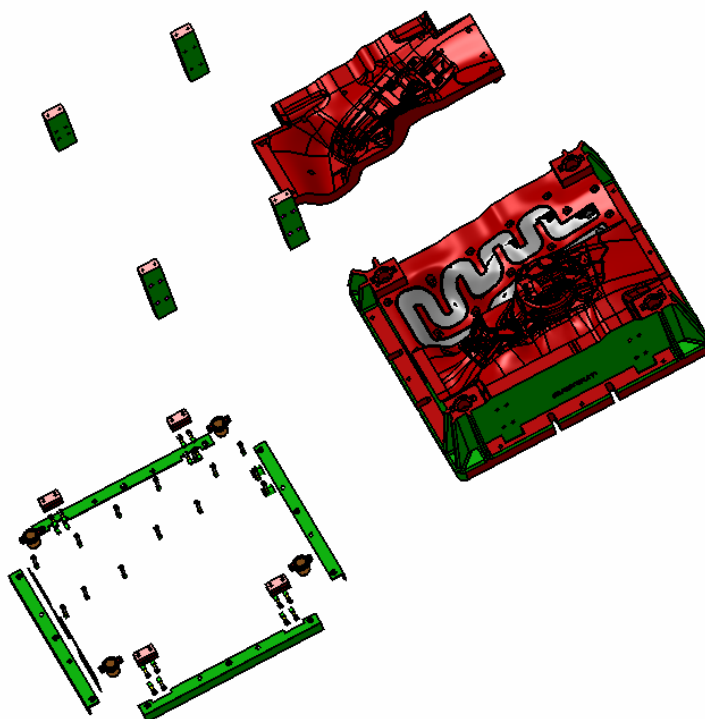
V dnešním světě spěchu, strachu z neúspěchu hrají roli dvě základní pravidla. Být rychlý a levný. V případě prototypů se mi zdá, že to platí stejně, pravděpodobně i hůř. Zhodnotím tedy nyní možné výroby prototypových nástrojů.

### 7.1 Časové srovnání dodání

Když jsme jako firma Autoneum začali spolupracovat s Modelárnou Liaz Liberec, zjistili jsme, že ode dne, kdy pošleme soubory STL do technologické části firmy Modelárny Liaz, trvá standartně maximálně 14 dní, než obdržíme vytištěný a naimpregnovaný hotový díl. Porovnání s metodou obrábění hliníkových bloků s vrtaným chlazením, či objednání odlitku hliníku se zalitým hadem chlazení, se dostáváme na datumy s mnohem delší datem dodáním samotných polotovarů. Další nevýhodou těchto dvou metod, jsou další náklady na obrábění. U prototypových nástrojů není využita potencialita vyšších pevností obráběných metod z hliníku.

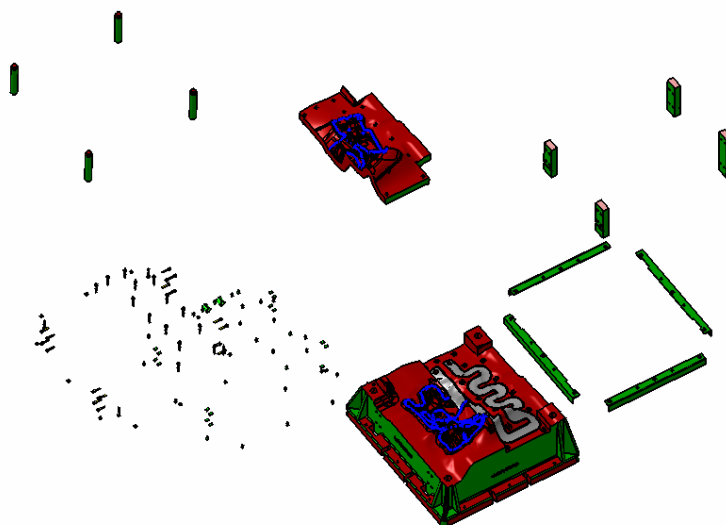
#### 7.1.1 Z hlediska konstrukce

Z časového hlediska a konstrukce je vcelku jedno, jestli budeme konstruovat konstrukci obráběných bloků, či odlévaných hliníkových odlitků. V případě modelů pro 3D tisk z písku, je konstrukce náročnější, jelikož se nedalo vycházet z jiného podobného nástroje. Nebylo to, ale nikterak závažnější číslo. Jednalo se o 22 hodin navíc oproti klasické metodě. Ve společnosti Autoneum Hnátnice vykazujeme práci pomocí softwaru Workplan.



Obr. 52 Rozpad spodních částí prototypového nástroje [vlastní foto]





Obr. 53 Rozpad horních částí prototypového nástroje [vlastní foto]

### 7.1.2 Z hlediska CAM a obrábění

Z hlediska programování CAM je odpověď vcelku stručná. Metoda 3D tisku z písku, nepotřebuje žádné programování a další obrábění tisknutých komponent. Obrábění a CAM je třeba započítat pro dorazy a vedení. Při obrábění z řezaných či frézovaných bloků hliníku, či odlitku ze slévárny je to naprosto nutné a dělá to hlavní část nákladů na výrobu. Bloky jsou často obráběny, jak z tvarové části nástroje, tak ze spodní strany, z důvodu odlehčení bloků. Hliníkové odlitky jsou frézované z tvarové části a také zarovnané ze strany základny odlitku.

### 7.1.3 Z hlediska montáže

V tomto bodě si troufám říci, že dosahujeme velmi podobného časového plánu, který mechanici potřebují k namontování nakupovaných dílů na nástroj. V případě tisknutého nástroje, je třeba počítat s 24 hodinami od zalepení závitových vložek, a až poté možnost montování dalších dílů.

## 7.2 Finanční srovnání

V této kapitole shrneme kapitolu 7.1. a její podkapitoly. Na základě obdržené nabídky na výrobu pískových výtisků a podkladů nákladů podobných prototypových nástrojů, které jsme u nás ve firmě vyráběli, jsem společně s nákupním a technologickým oddělením vytvořil tabulku Tab. 8, ve které jsou shrnuty veškeré náklady spojené s výrobou prototypového nástroje.

Tab. 10 Tabulka srovnání nákladů na výrobu prototypového nástroje.

Náklady	Tisknutý nástroj	Odlévaný nástroj	Nástroj z frézovaných bloků
Konstrukce	61 200 Kč	48 000 Kč	48 000 Kč
CAM	1 800 Kč	9 600 Kč	12 000 Kč
Obrábění	25 658 Kč	179 238 Kč	203 680 Kč
Materiál	167 750 Kč	96 565 Kč	128 000 Kč
Nakupované díly	75 750 Kč	73 711 Kč	65 496 Kč
Mechanika	35 964 Kč	40 982 Kč	52 024 Kč
<b>Celkem</b>	<b>368 122 Kč</b>	<b>448 096 Kč</b>	<b>509 200 Kč</b>

## 8 ZÁVĚR

V první část mé diplomové práce jsem se věnoval historickému shrnutí vývoje 3D tiskáren od prvního funkčního stroje až po aktuální dostupnost, zejména pak FDM tiskáren pro kutily. Stěžejní také bylo seznámení se společností Autonom, s jejíž spoluprací tento odborný text vznikl.

V druhé části bylo úkolem seznámení čtenáře s různými typy 3D tiskáren v závislosti na skupenství stavebního materiálu. Neméně podstatné pak bylo také objasnění možného využití 3D tiskáren pro rozdílné požadavky zákazníků.

Ovšem hlavním bodem této práce bylo zaměření se na metodu Binder Jetting, pro kterou je stavebním materiálem písek. V textu také často označováno Sand Print.

Navazující kapitolou, která doplňovala metodu BJ, bylo uvedení konstrukčního návrhu prototypového lisovacího nástroje, od přípravy ořezových ploch s nutností vyhnutí chybně vymodelovaných konturových ploch, až po samotnou konstrukci spodních i horních částí chlazených vodou. Tyto celky z finančních důvodů nelze v reálné podobě ověřit.

Dalším zajímavým výzkumem, který se mi podařilo uskutečnit, bylo testování vytištěných naimpregnovaných vzorků z písku a ověření v praxi. Jedním z hlavních bodů tohoto experimentu bylo srovnání nákladů na prototypový nástroj tisknutého metodou Sand Print s možností obrábění hliníkových bloků nebo odlitků hliníku se zalitým chlazením. Zde se ověřily moje osobní předpoklady, které jsem získal s předchozí spoluprací s firmou Modelárna Liaz Liberec na projektech chladících přípravků. Výsledkem je nejlevnější varianta prototypového nástroje.

Celou tuto práci jsem modeloval v softwaru Catia V5 včetně výkresové dokumentace, která není v naší firmě standardem z důvodu bezvýkresové dokumentace závislé na plošném označování barvami. Celková hmotnost nástroje včetně všech započítaných komponent činí 496,6 kg a maximální rozměry nástroje jsou 1102x1002x590 mm.

## 9 CITACE

1. KOVÁČIK, Miroslav. *3DFACTORY* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://3dfactory.cz/2017/10/27/historie/>
2. SLUSARCZYK, Paweł. *CENTRUMDRUKU3D* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://centrumdruku3d.pl/author/pawel-slusarczyk>
3. *NA3D* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/technologie-3d-tisku>
4. *3DHUBS* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing>
5. ŘÁSA, Jaroslav. *MMSPEKTRUM* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil>
6. *SUNCENTER* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.suncenter.co.jp/tskc/NEWYEAR2008/hptskc/siryo/catalog.pdf>
7. *CUSTOMPARTNET* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer>
8. ROZKOŠNÝ, Luboš. *KONSTRUKTER* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/jak-funguje-3d-tisk-metodou-direct-metal-laser-sintering/>
9. MALEKIPOUR, Ehsan. *RESEARCHGATE* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-direct-metal-laser-sintering-DMLS-process-6\\_fig1\\_334114846](https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-diagram-of-direct-metal-laser-sintering-DMLS-process-6_fig1_334114846)
10. KUPP, Donald a Harald EIFERT. *RAPID PROTOTYPING* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <http://utw10945.utweb.utexas.edu/Manuscripts/1997/1997-23-Kupp.pdf>
11. *COTU* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/122/ebm-electron-beam-melting>
12. *MATERIALISE* [online]. [cit. 2021-4-10].  
Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/fused-deposition-modeling-fdm>
13. *3DPRINTING* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.3dprinting.lighting/3d-printing-technologies/sheet-lamination/>

14. *G.W.P. AG* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.gwp-ag.com/services/prototyping/rapid-prototyping/multijet-modeling/index.html>
15. *SCULPTEO* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/lom-definition/>
16. *EXONE* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.exone.com/en-US/case-studies/what-is-binder-jetting>
17. *MODELARNA-LIAZ* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <http://www.modelarna-liaz.cz/technologie/44-sandprint-3d-tisk-pisku/>
18. *WHITECLOUDS* [online]. [cit. 2021-5-9].  
Dostupné z: <https://www.whiteclouds.com/3DPedia/ebm.html>
19. *3DHUBS* [online]. [cit. 2021-5-3].  
Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>
20. LIČKOVÁ, Dagmar [online]. [cit. 2021-5-5].  
Dostupné z: [http://hmel.vsb.cz/~lic098/files/10.cviceni\\_VZM.pdf](http://hmel.vsb.cz/~lic098/files/10.cviceni_VZM.pdf)
21. *IPM* [online]. [cit. 2021-5-14].  
Dostupné z: <https://www.ipm.cz/group/fracture/vyuka/doc/P07.pdf>
22. *Autoneum Hnátnice* [online]. [cit. 2021-5-14].  
Dostupné z: <https://autoneum.jobs.cz/hnatnice/>
23. *Krizport* [online]. [cit. 2021-5-14].  
Dostupné z: <https://www.krizport.cz/ohrozeni/nebezpecne-latky/furfurylalkohol>
24. *Tytan* [online]. [cit. 2021-5-14].  
Dostupné z: <https://tytan.cz/produkty/silikon-vysokoteplotni/>
26. LEINVEBER, Jan - VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: Albra, 2005. 921 s. ISBN 80-7361-011-6. Mechanika, s. 67
27. *FOXVALLEYMETROLOGY* [online]. [cit.2021-5-16]. Dostupné z:  
<https://www.foxvalleymetrology.com/products/metrology-systems/coordinate-measuring-machines/wenzel-lh-coordinate-measuring-machines/wenzel-lh-1512-coordinate-measuring-machine/>

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Výsledky měření vrubové houževnatosti

Příloha B: Měření přesnosti tištěných děr

Příloha C: Technický podklad prototypového nástroje frézovaného z hliníkového bloku

Příloha D: Nabídka 3D tisku Sand Print Turnov

Příloha E: Specifikace 3D tisku pozice 19063299\_001–Spodní Blok

Příloha F: Specifikace 3D tisku pozice 19063299\_002–Horní Blok

Příloha G: Specifikace 3D tisku pozice 19063299\_009–Skořepina

Příloha H: Specifikace 3D tisku pozice 19063299\_011–Skořepina

## 11 SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres A: Sestava spodní části / 19063299\_000\_00\_LOWER\_PARTS\_SPODNI\_CASTI.pdf  
Výkres B: Sestava prototypového nástroje / 19063299\_000\_00\_TOP\_ASSEMBLY\_SESTAVA.pdf  
Výkres C: Sestava horní části / 19063299\_000\_00\_UPPER\_PARTS\_HORNI\_CASTI.pdf  
Výkres D: Spodní blok / 19063299\_001\_00.pdf  
Výkres E: Horní blok / 19063299\_002\_00.pdf  
Výkres F: Rámeček / 19063299\_005\_01.pdf  
Výkres G: Rámeček / 19063299\_005\_02.pdf  
Výkres H: Rámeček / 19063299\_005\_03.pdf  
Výkres I: Rámeček / 19063299\_005\_04.pdf  
Výkres J: Vodící kůl / 19063299\_008\_00.pdf  
Výkres K: Skořepina / 19063299\_009\_00.pdf  
Výkres L: Skořepina / 19063299\_011\_00.pdf  
Výkres M: Doraz / 19063299\_012\_00.pdf  
Výkres N: Planžeta / 19063299\_013\_00.pdf  
Výkres O: Doraz / 19063299\_015\_01.pdf  
Výkres P: Doraz / 19063299\_015\_02.pdf  
Výkres Q: Doraz / 19063299\_015\_03.pdf  
Výkres R: Doraz / 19063299\_015\_04.pdf  
Výkres S: Doraz / 19063299\_028\_01.pdf  
Výkres T: Doraz / 19063299\_028\_02.pdf  
Výkres U: Doraz / 19063299\_028\_03.pdf  
Výkres V: Doraz / 19063299\_028\_04.pdf

Kusovník A: Kusovník prototypového nástroje / 19063299\_000\_00\_KUSOVNIK\_B.pdf

## Příloha A

	směr	Úhel $\beta$ pro x [°]	KCV pro osu x	směr	Úhel $\beta$ pro y [°]	KCV pro osu y	směr	Úhel $\beta$ pro z [°]	KCV pro osu z	Úhel $\beta$ bez vzorku [°]
1	x	115	4,90	y	115	4,90	z	110	5,67	138,5
2	x	111	5,51	y	109	5,82	z	110	5,67	Délka ramena [m]
3	x	114	5,05	y	113	5,21	z	110	5,67	0,38
4	x	108	5,98	y	112	5,36	z	110	5,67	Hmotnost kladiva [kg]
5	x	107	6,14	y	108	5,98	z	110	5,67	2,035
6	x	109	5,82	y	111	5,51	z	114	5,05	Gravitační zrychlení [m.s-2]
7	x	108,5	5,90	y	112	5,36	z	109	5,82	9,81
8	x	114	5,05	y	111	5,51	z	110,5	5,59	Plocha v místě vrubu [m2]
9	x	108	5,98	y	110	5,67	z	109	5,82	0,8
10	x	114	5,05	y	108	5,98	z	113	5,21	Výška pádu H [m]
11	x	107,5	6,06	y	111	5,51	z	110	5,67	0,7371
12	x	108	5,98	y	112	5,36	z	110	5,67	Průměrné KCV pro osu X [J*cm^-2]
13	x	114	5,05	y	112	5,36	z	110	5,67	5,511
14	x	109	5,82	y	109	5,82	z	110	5,67	Průměrné KCV pro osu Y [J*cm^-2]
15	x	109	5,82	y	112	5,36	z	110	5,67	5,490
16	x	109	5,82	y	112,5	5,28	z	112,5	5,28	Průměrné KCV pro osu Z [J*cm^-2]
17	x	112	5,36	y	110	5,67	z	111	5,51	5,514
18	x	108	5,98	y	114	5,05	z	112	5,36	
19	x	109	5,82	y	110	5,67	z	111	5,51	
20	x	110,5	5,59	y	109	5,82	z	111	5,51	
21	x	111	5,51	y	111	5,51	z	112	5,36	
22	x	110	5,67	y	109	5,82	z	111	5,51	
23	x	111	5,51	y	114	5,05	z	110	5,67	
24	x	111	5,51	y	114	5,05	z	111	5,51	
25	x	110	5,67	y	115	4,90	z	110	5,67	
26	x	114	5,05	y	112	5,36	z	115	4,90	
27	x	111,5	5,44	y	109	5,82	z	114	5,05	
28	x	112	5,36	y	112	5,36	z	112	5,36	
29	x	112	5,36	y	109	5,82	z	110	5,67	
30	x	113	5,21	y	110	5,67	z	115	4,90	
31	x	112	5,36	y	112	5,36	z	111	5,51	

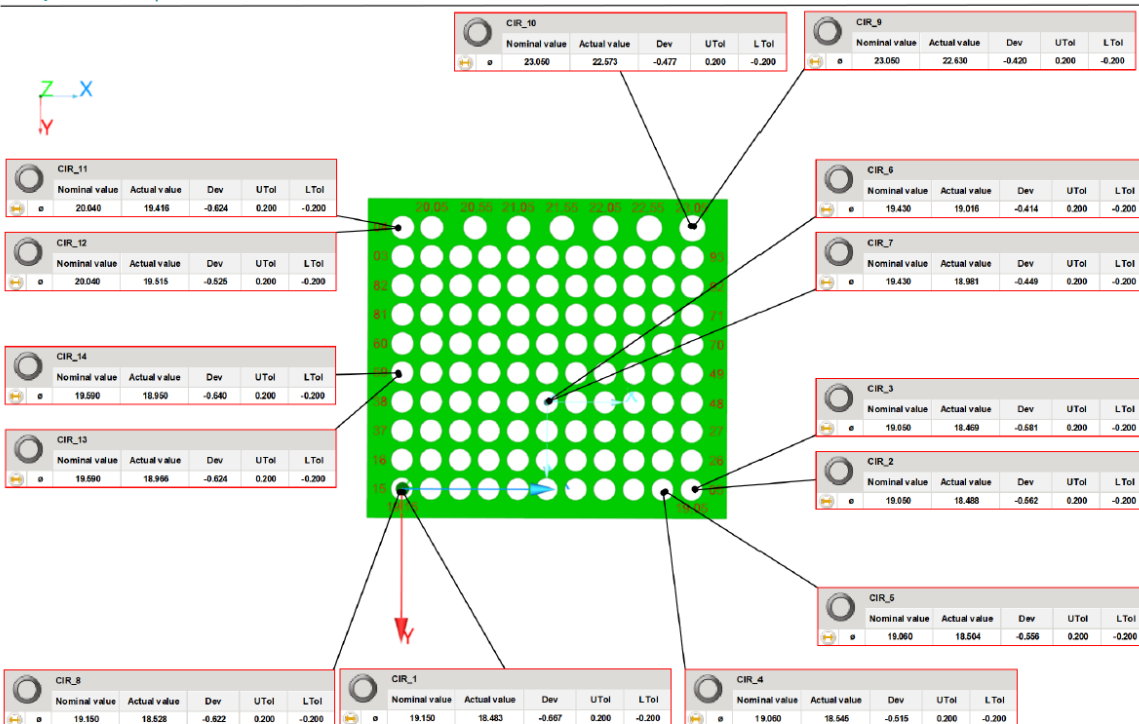
	směr	Úhel $\beta$ pro x [°]	KC pro osu x	směr	Úhel $\beta$ pro y [°]	KC pro osu y [J]	směr	Úhel $\beta$ pro z [°]	KC pro osu z	Úhel $\beta$ bez vzorku [°]
32	x	111	5,51	y	108	5,98	z	111	5,51	138,5
33	x	114	5,05	y	110	5,67	z	111	5,51	Délka ramena [m]
34	x	111	5,51	y	115	4,90	z	114	5,05	0,38
35	x	111	5,51	y	112	5,36	z	111	5,51	Hmotnost kladiva [kg]
36	x	112	5,36	y	114	5,05	z	110	5,67	2,035
37	x	113	5,21	y	110	5,67	z	110	5,67	Gravitační zrychlení [m.s-2]
38	x	111	5,51	y	107	6,14	z	108	5,98	9,81
39	x	112	5,36	y	111	5,51	z	110	5,67	Plocha v místě vrubu [m2]
40	x	114	5,05	y	112	5,36	z	111	5,51	0,8
										Výška pádu H [m]
										0,7371
										Průměrné KCV pro osu X [J*cm^-2]
										5,511
										Průměrné KCV pro osu Y [J*cm^-2]
										5,490
										Průměrné KCV pro osu Z [J*cm^-2]
										5,514



# Příloha B

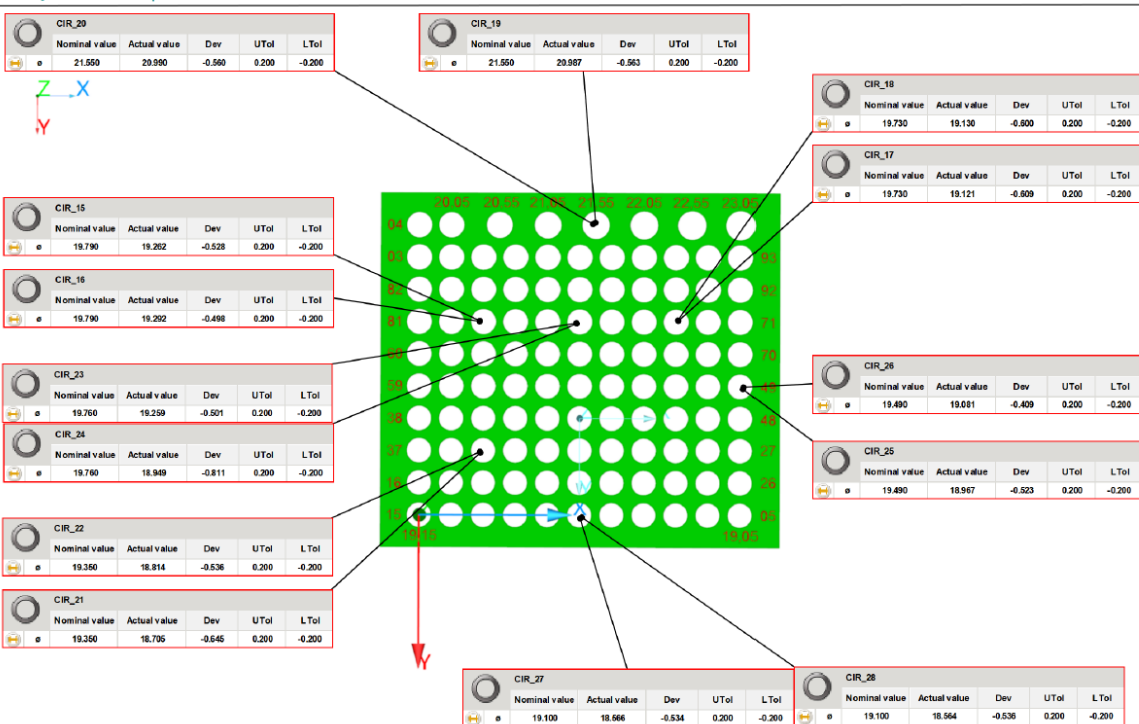
## Report WM | Quartis

autoneum



## Report WM | Quartis

autoneum



## Příloha C

Technický podklad nabídky						
Zákazník	Autoneum Orlice			č. nabídky : 21_000		
Č. dílu	JLR TRANSMISSION E/W			rozměr dílu:		
Nástroj	Lisovací			x	y	z
Konstrukční oblast	Acoustic materiál: Theta Cell			530	565	290
Četnost	1					
Konstrukční hodiny	80					
<b>Charakteristika nástroje:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lisovací nástroj s nátlakovou hranou ( bez stříhu )</li> <li>- spodní a horní díl z bloku, materiál AlMg4,5Mn0,7</li> <li>- chladicí okruh pro spodní a horní díl, vrtané otvory ø19 v rozteči 100mm</li> <li>- bez parního rozvodu</li> <li>- bez uzavírací desky</li> <li>- bez upínacích desek</li> <li>- bez izolace pod spodní blokem</li> <li>- bez boční izolace</li> <li>- hlavní vedení 2x - kuželové D50, umístěné do odpadové plochy bloku</li> <li>- hlavní doraz 4x, D40, umístěný na blok do odp.plochy (bez podložky) nekalené</li> <li>- bez noh nebo rámu pro dorovnání výšky nástroje do minimálního sevření lisu</li> <li>- transportní oko 4x</li> <li>- konektory 4x pro okruhy hlazení</li> <li>- 8x pozice základního dorazu</li> <li>- PT100 2x</li> </ul> <p>- Nabídnout variantně alternativu s Al odlitky se zalitými trubkami</p>						
<b>Stavba nástroje:</b>				X	Y	Z
				Celkové rozměry nástroje:		
Název	Materiál	Velikost polotovaru [mm]			ks	Hmotnost (rozměr)
		X	Y	Z		
Spodní díl	AlMg4,5Mn0,7	830	865	370	1	744 kg
Horní díl	AlMg4,5Mn0,7	830	865	370	1	744 kg
Upínací desky	11 523	1500	1550	30	0	0 kg
Uzavírací deska(y)	11 523	830	865	40	0	0 kg
Nohy (příp.rám)	11 523	830	50	240	0	0 kg
Podl.dorazů, bloky ved.	11 523	-	-	-	-	20 kg
Vedení	1.2312	-	-	-	4	25 kg
<b>Použitý materiál celkem:</b>				<b>Použité normálie:</b>		
AlMg4,5Mn0,7	1488 kg					
11 523	20 kg					
1.2312	25 kg					
<b>Poznámky pro zákazníka :</b>						
				datum: 13.5.21		
				vypracoval: Tomek		

## Příloha D



### Cenová nabídka 011121

Peter Knobloch Malý Rohozec 1, Česká Republika Tel: 00420\_604\_270318

Odběratel:	Dodavatel:
Autoneum CZ, s.r.o. U Dvořiska 1721 Choceň, 565 01 Tel. 465 515 111 Email: Ivana.halbrstatova@autoneum.com IČ: Dič:	Peter Knobloch Malý Rohozec 1 511 01 Turnov Tel: 00420_604_270318 e-mail: cad.knobloch@gmail.com IČ: 666 43 431 Dič: CZ7801043437

Provozovna: Knobloch Peter, Krátká 1293, Turnov 511 01

Výroba dílu:

Poptávka č.

Sandprint

Díl popis		Množství	Cena celkem bez DPH
Skořepina 19063299_001_00C	3Dtisk Sand Infiltrace epox	1 1	64.900,-Kč 34.100,-Kč
Skořepina 19063299_002_00C	3Dtisk Sand Infiltrace epox	1 1	64.900,-Kč 34.100,-Kč
Skořepina 19063299_009_00C	3Dtisk Sand Infiltrace epox	1 1	18.700,-Kč 10.450,-Kč
Skořepina 19063299_011_00C	3Dtisk Sand Infiltrace epox	1 1	19.250,-Kč 10.450,-Kč

Doprava ... předpokládáme individuální (Vaše vlastní)

Termín realizace cca min 15 dní od objednávky, nebo dle dohody.

V Turnově dne 10.05.2021

## Příloha E

### 3D printed part specification Specifikace 3D tištěného dílu





**autoneum**  
Tooling Hnátnice

CAD – Drawing number. (3D print): CAD - Číslo výkresu (3D výtisk):		19063299_001_00	
Contact person: Petr Minář Kontaktní osoba:		Tel.: + 420 465 515 353 GSM: + 420 724 283 903	
3D print material: Materiál 3D výtisku:	BJ <input checked="" type="checkbox"/> Sand + Furan Písek + Furan	FDM <input type="checkbox"/> PET-G	<input type="checkbox"/>
Pcs. / kusů: 1		Dimensions/ rozměry:	1090 x 990 x 392 mm

Allowed tolerances according Povolené tolerance podle	ISO 2768 mK
--	-------------

Impregnation (for BJ print): Impregnace (pro BJ tisk):	<input checked="" type="checkbox"/> Impregnate with epoxy resin Impregnovat epoxidovou pryskyřicí
Depth of epoxy resin saturation 5-8 mm. Hloubka nasycení epoxidovou pryskyřicí 5-8 mm.	
Before impregnation, smooth out the surfaces (red) with fine sandpaper. Hladké plochy (červené) před impregnací vyhladit jemným smrkovým papírem.	

CAD Surface Colors /  
Barvy CAD ploch

Color / Barva	Title / Název		Allowances Přídavek	Note Poznámka
	Sharp edge curve / křivka ostrá hrana	don't chamfer nesrážet hranu	No Ne	
	Smooth surface Ra 6.3 / hladké plochy Ra 6.3	smoothed out vyhlazeno	No Ne	
	Special surface with specification/ speciální plocha určená specifikací		No Ne	
	Printed surface / vytištěná plocha		No Ne	

Attachments : Počet příloh	1
-------------------------------	---

## Příloha F

### 3D printed part specification Specifikace 3D tištěného dílu

**autoneum**





Tooling Hnátice

CAD – Drawing number. (3D print): <b>19063299_002_00</b>			
CAD - Číslo výkresu (3D výtisk):			
Contact person: Petr Minář Kontaktní osoba:			Tel.: + 420 465 515 353 GSM: + 420 724 283 903
3D print material: Materiál 3D výtisku:	BJ <input checked="" type="checkbox"/> Sand + Furan Písek + Furan	FDM <input type="checkbox"/> PET-G	<input type="checkbox"/>
Pcs. / kusů: 1	Dimensions/ rozměry:		1090 x 990 x 482 mm

Allowed tolerances according Povolené tolerance podle	ISO 2768 mK
--	-------------

Impregnation (for BJ print): Impregnace (pro BJ tisk):	<input checked="" type="checkbox"/> Impregnate with epoxy resin Impregnovat epoxidovou pryskyřicí
Depth of epoxy resin saturation 5-8 mm. Hloubka nasycení epoxidovou pryskyřicí 5-8 mm.	
Before impregnation, smooth out the surfaces (red) with fine sandpaper. Hladké plochy (červené) před impregnací vyhladit jemným smirkovým papírem.	

CAD Surface Colors /  
Barvy CAD ploch

Color / Barva	Title / Název	Allowances Přídavek	Note Poznámka
	Sharp edge curve / křivka ostrá hrana	don't chamfer nesrážet hranu	No Ne
	Smooth surface Ra 6.3 / hladké plochy Ra 6.3	smoothed out vyhlazeno	No Ne
	Special surface with specification/ speciální plocha určená specifikací		No Ne
	Printed surface / vytištěná plocha		No Ne

Attachments : Počet příloh	1
-------------------------------	---

## Příloha G

### 3D printed part specification Specifikace 3D tištěného dílu





**autoneum**  
Tooling Hnátice

CAD – Drawing number. (3D print): CAD - Číslo výkresu (3D výtisk):		19063299_009_00	
Contact person: Petr Minář Kontaktní osoba:		Tel.: + 420 465 515 353 GSM: + 420 724 283 903	
3D print material: Materiál 3D výtisku:	BJ <input checked="" type="checkbox"/> Sand + Furan Písek + Furan	FDM <input type="checkbox"/> PET-G	<input type="checkbox"/> .....
Pcs. / kusů: 1	Dimensions/ rozměry:		950 x 425 x 330 mm

Allowed tolerances according Povolené tolerance podle	ISO 2768 mK
--	-------------

Impregnation (for BJ print): Impregnace (pro BJ tisk):	<input checked="" type="checkbox"/> Impregnate with epoxy resin Impregnovat epoxidovou pryskyřicí
Depth of epoxy resin saturation 5-8 mm. Hloubka nasycení epoxidovou pryskyřicí 5-8 mm.	
Before impregnation, smooth out the surfaces (red) with fine sandpaper. Hladké plochy (červené) před impregnací vyhladit jemným smirkovým papírem.	

#### CAD Surface Colors / Barvy CAD ploch

Color / Barva	Title / Název	Allowances Přidavek	Note Poznámka
	Sharp edge curve / křivka ostrá hrana	don't chamfer nesrážet hranu	No Ne
	Smooth surface Ra 6.3 / hladké plochy Ra 6.3	smoothed out vyhlazeno	No Ne
	Special surface with specification/ speciální plocha určená specifikací		No Ne
	Printed surface / vytištěná plocha		No Ne

Attachments : Počet příloh	1
-------------------------------	---

## Příloha H

### 3D printed part specification Specifikace 3D tištěného dílu





**autoneum**  
Tooling Hnátice

CAD – Drawing number. (3D print): CAD - Číslo výkresu (3D výtisk):		19063299_011_00	
Contact person: Petr Minář Kontaktní osoba:		Tel.: + 420 465 515 353 GSM: + 420 724 283 903	
3D print material: Materiál 3D výtisku:	BJ <input checked="" type="checkbox"/> Sand + Furan Písek + Furan	FDM <input type="checkbox"/> PET-G	<input type="checkbox"/> .....
Pcs. / kusů: 1		Dimensions/ rozměry:	950 x 425 x 331 mm

Allowed tolerances according Povolené tolerance podle	ISO 2768 mK
--	-------------

Impregnation (for BJ print): Impregnace (pro BJ tisk):	<input checked="" type="checkbox"/> Impregnate with epoxy resin Impregnovat epoxidovou pryskyřicí
Depth of epoxy resin saturation 5-8 mm. Hloubka nasycení epoxidovou pryskyřicí 5-8 mm.	
Before impregnation, smooth out the surfaces (red) with fine sandpaper. Hladké plochy (červené) před impregnací vyhladit jemným smirkovým papírem.	

#### CAD Surface Colors / Barvy CAD ploch

Color / Barva	Title / Název	Allowances Přidavek	Note Poznámka
	Sharp edge curve / křivka ostrá hrana	don't chamfer nesrážet hranu	No Ne
	Smooth surface Ra 6.3 / hladké plochy Ra 6.3	smoothed out vyhlazeno	No Ne
	Special surface with specification/ speciální plocha určená specifikací		No Ne
	Printed surface / vtištěná plocha		No Ne

Attachments : Počet příloh	1
-------------------------------	---